



**PENGARUH BAHAN TAMBAH CACAHAN LIMBAH BOTOL AIR
MINERAL PLASTIK TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS DAN KUAT
GESER LANGSUNG PADA LEMPUNG DESA PUNUKAN,
KULON PROGO**

PROYEK AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya



Oleh
ARIF PURNOMO
NIM. 12510134044

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2016

LEMBAR PENGESAHAN

PROYEK AKHIR

**PENGARUH BAHAN TAMBAH CACAHAN LIMBAH BOTOL AIR
MINERAL PLASTIK TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS DAN KUAT
GESER LANGSUNG PADA LEMPUNG DESA PUNUKAN,
KULON PROGO**

Dipersiapkan dan disusun oleh :

Arif Purnomo
12510134044

Telah Dipertahankan Di Depan Penguji Proyek Akhir Jurusan Pendidikan Teknik

Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta

Pada Tanggal 24 Mei 2016

dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya

SUSUNAN DEWAN PENGUJI

Jabatan	Nama Lengkap	Tanda Tangan
1. Ketua Penguji	Ir. Endaryanta, M.T	
2. Penguji Utama I	Ir. Surahmad Mursidi	
3. Penguji Utama II	Dian Eksana Wibowo, S.T, M.Eng	

Yogyakarta, Mei 2015

Dekan Fakultas
Universitas Negeri Yogyakarta



Dr. Moch. Bruri Triyono, M.Pd.
NIP. 19560216 198603 1 003

Motto

Aja Kuminter Mundak Keblinger, Aja Cidra Mundak Cilaka
(filosofi jawa)

Ngluruk Tanpa Bala, Menang Tanpa Ngasorake, Sekti Tanpa Aji-Aji, Sugih
Tanpa Bandha
(filosofi jawa)

Lembar Persembahan

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas segalanya yang telah diberikan hingga proyek akhir yang sederhana ini terselesaikan, dan sholawat serta salam selalu terlimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Karya yang sederhana ini kupersembahkan kepada kedua orang tuaku, Bapak Puji Wardoyo dan Ibu Hari Kristiati serta kedua adik saya Dian Sasmita dan Indah Cahya Wirnasih yang telah memberikan semangat ketika saya merasa lelah.

**PENGARUH BAHAN TAMBAH CACAHAN LIMBAH BOTOL AIR
MINERAL PLASTIK TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS DAN KUAT
GESER LANGSUNG PADA LEMPUNG DESA PUNUKAN,
KULON PROGO**

Oleh:
Arif Purnomo
12510134044

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis tanah lempung Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta menurut Klasifikasi Tanah Sistem *Unified* atau AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) dan mengetahui berapa nilai q_u , ϕ , dan c tertinggi pada pengujian tekan bebas serta geser langsung dengan campuran potongan limbah material plastik berbentuk zig-zag ukuran 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm pada persentase (0%, 1%, 2%, 3%).

Pada penelitian menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. Pengujian benda uji dilakukan dengan cara menganalisa sifat fisis tanah, batas atterberg, distribusi butiran, pemadatan, kuat tekan bebas dan geser langsung.

Berdasarkan hasil penelitian menurut klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) tanah diklasifikasikan A-5(18) yaitu tanah berlanau sedang sampai buruk dan menurut sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) diklasifikasikan OL (*Organic Silt or Clay low-Plasticity*) yaitu lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah. Hasil pengujian kuat tekan bebas benda uji dengan campuran potongan plastik ukuran 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm nilai q_u , ϕ , dan c tertinggi terdapat pada persentase 0% sebesar 3,1784 kg/cm², 0% sebesar 14° dan 3% sebesar 1,8533 kg/cm² serta persentase 3% sebesar 4,0464 kg/cm², 0% sebesar 14° dan 3% sebesar 3,4057 kg/cm². Pengujian geser langsung nilai tertinggi ϕ dan c ukuran 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm, terdapat pada persentase 1% sebesar 85,91° dan 1% sebesar 2,4909 kg/cm² serta persentase 0% sebesar 55,77° dan 0% sebesar 0,0615 kg/cm².

Kata Kunci: limbah material plastik, kuat tekan bebas, geser langsung.

**PENGARUH BAHAN TAMBAH CACAHAN LIMBAH BOTOL AIR
MINERAL PLASTIK TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS DAN KUAT
GESER LANGSUNG PADA LEMPUNG DESA PUNUKAN,
KULON PROGO**

By:
ArifPurnomo
12510134044

ABSTRACT

This experiment to find out clay's type in Punukan village, Wates, Kulon Progo, Yogyakarta based on Unified land classification system or AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials Classification) and to find out the highest number of q_u , ϕ , and c based on unconfined compression test also direct shear by using a mixed pieces of plastic material waste in zigzag shape size 0,5 cm x 1 cm and 1 cm x 1cm in percentage (0%, 1%, 2%, and 3%).

This experiment used experimental method that was conducted in the laboratory soil mechanics at the Engineering Faculty of State University of Yogyakarta. Specimen experiment was conducted by analyzing soil physical properties, Atterberg limitation, grain distribution, compaction, unconfined compression test, and direct shear test.

The experiment reveals some result. First, based on AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), soil is classified into A-5(18) that is medium to low silty soil. Second, based on USCS (Unified Soil Classification System), soil is classified as OL (Organic Silt or Clay low-Plasticity) that is organic silt and organic silty clay with low plasticity. The result of the unconfined compression test specimen with a plastic pieces mixed size 0.5 cm x 1 cm and 1 cm x 1cm reveals the highest number of q_u , ϕ , and c that is on 0% that is 3.1784 kg/cm², 0% that is 14° and 3% that is 1.8533 kg/cm² also on 3% that is 4.0464 kg/cm², 0% that is 71° and 3% that is 3.4057 kg/cm². The highest number of ϕ and c size 0.5 cm x 1 cm and 1 cm x 1 cm on direct shear testing is on 1% that is 85,91°, and 1% that is 2.4909 kg/cm² also 0% that is 55, 77° and 0% that is 0.0615 kg/cm².

Keywords: *plastic material waste, unconfined compression test, direct shear test*

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN	.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	.....	iii
SURAT PERNYATAAN	.....	iv
MOTTO	.....	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	.....	vi
ABSTRAK	.....	vii
KATA PENGANTAR	.....	viii
DAFTAR ISI	.....	xi
DAFTAR GAMBAR	.....	xv
DAFTAR RUMUS	.....	xviii
DAFTAR TABEL	.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	.....	xxiv
BAB I	PENDAHULUAN	1
	A. Latar Belakang	1
	B. Batasan Masalah	2
	C. Rumusan Masalah	2
	D. Tujuan Penelitian	3
	E. Manfaat Penelitian	4
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	5
	A. Tanah	5
	1. Pengertian Tanah	5
	2. Klasifikasi Tanah	6
	a. Sistem Klasifikasi <i>Unified</i>	8
	b. Sistem Klasifikasi AASHTO	12
	c. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran	

Butir	15
B. Lempung	16
1. Pengertian Lempung	16
2. Sifat Umum Material Lempung	17
a. Hidrasi	17
b. Aktivitas	18
c. Pengaruh Air Pada Lempung	19
C. Stabilitas Tanah	20
1. Stabilitas Mekanik	20
2. Stabilitas dengan Menggunakan Bahan	
Tambah	21
D. Plastik	22
1. Bahan dan Kandungan yang Terdapat	
Dalam Plastik	23
2. Jenis Plastik	23
a. <i>Thermoplasik</i>	23
b. <i>Thermoset</i>	23
E. Pengujian Sifat Fisik Tanah	29
1. Kadar Air Tanah	29
2. Berat Jenis	30
3. Batas Konsistensi Tanah (Atterberg)	31
a. Batas Cair (LL)	31
b. Batas Plastis (PL) dan Indeks Plastisitas (PI)	32
c. Batas Susut (SL)	32
4. Distribusi Ukuran Butiran	36
F. Pemadatan Tanah	41
G. Uji Kuat Tekan Bebas	42
H. Uji Geser Langsung	45
I. Penelitian Terdahulu	46
 BAB III METODE PENELITIAN	 51

A. Metode	51
B. Objek Penelitian	51
C. Variabel Penelitian	51
D. Desain Eksperimen	53
E. <i>Flow Chart</i> Penelitian	54
F. Alat dan Bahan	55
1. Alat	55
2. Bahan	58
G. Prosedur Pengujian	59
1. Pengujian Sifat Fisis Tanah	59
a. Pengujian Kadar Air (ASTM D 2216-71)	59
b. Pengujian Berat Jenis Tanah (ASTM D 854-2)	61
2. Pengujian Batas-batas Atterberg	63
a. Pengujian Batas Cair (ASTM D 423-66)	63
b. Pengujian Batas Plastis dan Indeks Plastisitas (ASTM D 424-74)	67
c. Pengujian Batas Susut Tanah (ASTM D 427-74)	68
3. Pengujian Distribusi Ukuran Butiran Tanah	71
4. Pemadatan Tanah Standar (ASTM D 698 – 70)	79
5. Pembuatan Benda Uji	83
6. Pengujian Tekan Bebas (ASTM D 2166-85)	84
7. Pengujian Geser Langsung (ASTM D 3080-72)	89
BAB IV PEMBAHASAN	94
A. Pembahasan	94
1. Sifat Fisis Tanah	94
a. Kadar Air Awal (w)	94

b. Berat Jenis Tanah (G_s)	94
2. Batas-batas Konsistensi (Atterberg)	94
a. Batas Cair (LL)	94
b. Batas Plastis dan Indeks Plastis (PI)	94
c. Batas Susut (SL)	95
3. Distribusi Ukuran Butir	95
4. Pemadatan Tanah	97
5. Berat Jenis Plastik	98
B. Pembahasan	98
6. Uji Tekan Bebas	98
7. Uji Geser Langsung	103
 BAB V SIMPULAN DAN SARAN	 106
A. Simpulan	106
B. Saran	107
C. Keterbatasan Penelitian	108
 DAFTAR PUSTAKA	 109
LAMPIRAN	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Batas-batas Atterberg untuk sub kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7	13
Gambar 2.	Diagram Identifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Butir (U.S Departement of Agriculture dalam Braja M. Das, 2010:96 dalam Dian Widhi Atmoko, 2015:22)	16
Gambar 3.	Plastik PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>) atau PETE	24
Gambar 4.	Plastik HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	25
Gambar 5.	Plastik PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	26
Gambar 6.	Plastik LPDE (<i>Low Density polyethylene</i>)	27
Gambar 7.	Plastik PP (<i>Polypropylene</i>)	27
Gambar 8.	Plastik PS (<i>Polystyrene</i>)	28
Gambar 9.	Plastik jenis OTHER	29
Gambar 10.	Grafik Penentuan Batas Cair Tanah Lempung	32
Gambar 11.	Bagan Hubungan Variabel Penelitian	53
Gambar 12.	<i>Flow Chart</i> Penelitian	54
Gambar 13.	Tanah Lempung yang telah Lolos Saringan No.4	58
Gambar 14.	Grafik Distribusi Ukuran Butir Tanah	96
Gambar 15.	Diagram Indentifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Butir	97
Gambar 16.	Grafik Plastisitas Identifikasi Jenis Tanah	98
Gambar 17.	Diagram Nilai Uji Tekan Bebas (q_u)	99
Gambar 18.	Diaram Nilai Sudut Geser Uji Tekan Bebas	101
Gambar 19.	Diaram Nilai Nilai Kohesi Uji Tekan Bebas	102
Gambar 20.	Nilai Sudut Geser dari Pengujian Geser Langsung	104
Gambar 21.	Nilai kohesi (c) dari Pengujian Geser Langsung	105
Gambar 22.	Grafik Batas Cair	115

Gambar 23.	Grafik Hubungan Kadar Air dengan γ_d Pemadatan Standar	124
Gambar 24.	Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Tanpa Campuran Potongan Plastik	130
Gambar 25.	Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 0,5 cm x 1 cm (1%)	131
Gambar 26.	Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 0,5 cm x 1 cm (2%)	132
Gambar 27.	Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 0,5 cm x 1 cm (3%)	133
Gambar 28.	Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan dengan Serat Potongan Plastik Ukuran 0,5 cm x 1 cm	137
Gambar 29.	Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 1 cm x 1 cm (1%)	138
Gambar 30.	Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 1 cm x 1 cm (2%)	139
Gambar 31.	Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 1 cm x 1 cm (3%)	140
Gambar 32.	Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan dengan Serat Potongan Plastik Ukuran 1 cm x 1 cm	141
Gambar 33.	Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan (Persentase 0% dengan 1%)	147
Gambar 34.	Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan (Persentase 0% dengan 2%)	147
Gambar 35.	Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan (Persentase 0% dengan 3%)	148
Gambar 36.	Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Tanpa menggunakan Campuran Potongan Plastik	157
Gambar 37.	Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Pesentase 1% (0,5 cm x 1 cm)	158

Gambar 38.	Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser	
	Maksimum Pesentase 2% (0,5 cm x 1 cm)	160
Gambar 39.	Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser	
	Maksimum Pesentase 3% (0,5 cm x 1 cm)	162
Gambar 40.	Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser	
	Maksimum Pesentase 1% (1 cm x 1 cm)	166
Gambar 41.	Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser	
	Maksimum Pesentase 2% (1 cm x 1 cm)	168
Gambar 42.	Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser	
	Maksimum Pesentase 3% (1 cm x 1 cm)	170

DAFTAR RUMUS

Rumus 1.	GI (<i>Group Indeks</i>)	12
Rumus 2.	Aktivitas	18
Rumus 3.	Kadar air (w)	29
Rumus 4.	Berat jenis (G)	30
Rumus 5.	Berat jenis pada temperatur 27,5°C	30
Rumus 6.	Indeks Plastisitas (PI)	31
Rumus 7.	Batas susut (SL)	33
Rumus 8.	Batas susut (SL)	33
Rumus 9.	Angka susut (SR)	34
Rumus 10.	Angka susut (SR)	34
Rumus 11.	Susut volumetrik (VS)	35
Rumus 12.	Susut volumetrik (VS)	35
Rumus 13.	Susut linier (LS)	35
Rumus 14.	Berat jenis tanah (G_s)	35
Rumus 15.	Ukuran butir terbesar (D)	96
Rumus 16.	Persentase berat (P %) hidrometer 151 H	37
Rumus 17.	Persentase berat (P %) hidrometer 152 H	37
Rumus 18.	Berat volume basah (γ_b)	41
Rumus 19.	Berat volume kering (γ_d)	42
Rumus 20.	Regangan (ϵ)	43
Rumus 21.	Luas penampang benda uji semula (A)	43
Rumus 22.	Tegangan (σ)	44
Rumus 23.	Sudut geser dalam (ϕ)	44
Rumus 24.	Kuat tekan bebas benda uji (q_u)	44
Rumus 25.	Kohesi (c)	44
Rumus 26.	Tegangan geser maksimum (τ)	45
Rumus 27.	Tegangan geser maksimum (τ)	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Klasifikasi Tanah Sistem <i>Unified</i>	9
Tabel 2.	Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO	14
Tabel 3.	Nilai Khas Aktivitas Mineral Lempung	18
Tabel 4.	Daftar Berat Jenis Air	31
Tabel 5.	Faktor Koreksi α , untuk <i>Hydrometer</i> 152 H Terhadap Berat Jenis Butir	37
Tabel 6.	Nilai K untuk Menghitung Diameter Butir dengan <i>Hydrometer</i>	38
Tabel 7.	Nilai Kedalaman Efektif (L) untuk <i>Hydrometer</i> 151 H	39
Tabel 8.	Nilai Kedalaman Efektif (L) untuk <i>Hydrometer</i> 152 H	40
Tabel 9.	Hasil pengujian benda uji dengan persentase cacahan botol air mineral plastik ukuran 0,5 cm x 1 cm (Rencana)	53
Tabel 10.	Ketentuan Benda Uji dengan Neraca yang Ditimbang	60
Tabel 11.	Persentase/Fraksi Tanah Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta	96
Tabel 12.	Nilai q_u , ϕ , dan c Uji Tekan Bebas Campuran Potongan Plastik 0,5 cm x 1 cm	98
Tabel 13.	Nilai q_u , ϕ , dan c Uji Tekan Bebas Campuran Potongan Plastik 1 cm x 1 cm	99
Tabel 14.	Nilai sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c) pengujian Geser Langsung	104
Tabel 15.	Pemeriksaan Kadar Air (w)	111
Tabel 16.	Pemeriksaan Berat Jenis (G)	112
Tabel 17.	Pemeriksaan Batas Cair	113

Tabel 18.	Pemeriksaan Batas Plastis	115
Tabel 19.	Kadar Air Tanah Basah	116
Tabel 20.	Berat jenis tanah sudah diketahui berat jenis butir/tanah: $G = 2,423$	117
Tabel 21.	Faktor-faktor Susut Tanah	117
Tabel 22.	Pemeriksaan Kadar Air	118
Tabel 23.	Berat Tanah	118
Tabel 24.	Analisa Endapan (Pengujian Hidrometer)	119
Tabel 25.	Data Saringan Butir Pasir (Setelah Analisa Pengendapan) ...	120
Tabel 26.	Kebutuhan Penambahan Air untuk Setiap Percobaan Pemadatan Standar	121
Tabel 27.	Data Ukuran Silinder dan Jumlah Pukulan pada Pengujian Pemadatan Standar	121
Tabel 28.	Data Hasil Percobaan dan Hitung Nilai γ_b Pemadatan Standar	122
Tabel 29.	Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai γ_b Pemadatan Standar	122
Tabel 30.	Hasil Perhitungan Pengujian Pemadatan	123
Tabel 31.	Pemeriksaan Berat Jenis Plastik	124
Tabel 32.	Menentukan Kadar Air Awal	125
Tabel 33.	Data Benda Uji Tekan Bebas Silinder 1	125
Tabel 34.	Data Benda Uji Tekan Bebas Silinder 2	126
Tabel 35.	Data Benda Uji Tekan Bebas Silinder 3	126
Tabel 36.	Data Benda Uji Tekan Bebas	126
Tabel 37.	Data Kebutuhan Serat Plastik Benda Uji Tekan Bebas	127
Tabel 38.	Data Hasil Uji Tekan Bebas	128

Tabel 39.	Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai γ_b Uji Tekan	
	Bebas Ukuran Plastik 0,5 cm x 1 cm	131
Tabel 40.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (0%)	132
Tabel 41.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (1%)	133
Tabel 42.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (2%)	134
Tabel 43.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (3%)	135
Tabel 44.	Nilai q_u , ϕ , dan c Uji Tekan Bebas Campuran Plastik	
	0,5 cm x 1 cm	136
Tabel 45.	Data Uji Tekan Bebas	137
Tabel 46.	Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai γ_b Uji Tekan Bebas	
	Ukuran Plastik 1 cm x 1 cm	140
Tabel 47.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (1%)	141
Tabel 48.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (2%)	142
Tabel 49.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (3%)	143
Tabel 50.	Nilai q_u , ϕ , dan c Uji Tekan Bebas Campuran Plastik	
	0,5 cm x 1 cm	144
Tabel 51.	Hasil Rerata Uji Tekan Bebas	145
Tabel 52.	Data Hasil Pemeriksaan Kadar Air Awal Uji Geser	
	Langsung	148
Tabel 53.	Data Cetakan Benda Uji	148
Tabel 54.	Data Benda Uji	149
Tabel 55.	Data Pencarian Kebutuhan Air	149
Tabel 56.	Data Kebutuhan Serat Plastik Benda Uji Geser	
	Langsung	150
Tabel 57.	Hasil Uji Geser Langsung Tanpa Campuran Plastik	151
Tabel 58.	Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 1%	

	Ukuran 0,5 cm x 1 cm	152
Tabel 59.	Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 2%	
	Ukuran 0,5 cm x 1 cm	153
Tabel 60.	Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 3%	
	Ukuran 0,5 cm x 1 cm	154
Tabel 61.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Tanpa Serat Potongan Plastik	155
Tabel 62.	Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum	156
Tabel 63.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Persentase 1% (0,5 cm x 1 cm)	157
Tabel 64.	Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum	158
Tabel 65.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Persentase 2% (0,5 cm x 1 cm)	159
Tabel 66.	Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum	160
Tabel 67.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Persentase 3% (0,5 cm x 1 cm)	161
Tabel 68.	Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum	162
Tabel 69.	Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 1%	
	Ukuran 1 cm x 1 cm	163
Tabel 70.	Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 2%	
	Ukuran 1 cm x 1 cm	164
Tabel 71.	Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 3%	

	Ukuran 1 cm x 1 cm	165
Tabel 72.	Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum	166
Tabel 73.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Persentase 2% (1 cm x 1 cm)	167
Tabel 74.	Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum	168
Tabel 75.	Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Persentase 3% (1 cm x 1 cm)	169
Tabel 76.	Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum	170

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Pemeriksaan Kadar Air Tanah Lempung	111
Lampiran 2.	Pemeriksaan Berat Jenis Tanah Lempung	112
Lampiran 3.	Pemeriksaan Batas Cair (LL)	113
Lampiran 4.	Pemeriksaan Batas Plastis (SL)	115
Lampiran 5.	Pemeriksaan Batas Susut dan Faktor-Faktor Susut Tanah	116
Lampiran 6.	Pemeriksaan Distribusi Ukuran Butir Tanah	118
Lampiran 7.	Pemadatan Tanah	121
Lampiran 8.	Pemeriksaan Berat Jenis Plastik	124
Lampiran 9.	Data Persiapan Pengujian Tekan Bebas	125
Lampiran 10.	Pengujian Tekan Bebas 0,5 cm x 1 cm	128
Lampiran 11.	Pengujian Tekan Bebas 1 cm x 1 cm	137
Lampiran 12.	Grafik dan Diagram Perbandingan Hasil Pengujian Tekan Bebas	145
Lampiran 12.	Data Persiapan dan Data Pengujian Geser Langsung	148

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah merupakan komponen dasar yang mempunyai peranan penting dalam pekerjaan-pekerjaan teknik sipil. Tanah yang baik adalah tanah yang memiliki kuat dukung yang tinggi dan memiliki kriteria sifat tanah yang baik, akan tetapi tidak semua tanah memiliki kondisi yang ideal. Hal ini dikarenakan kondisi tanah yang *heterogen*.

Tanah lempung merupakan salah satu tanah yang mempunyai kuat dukung yang rendah, sifat kembang susut yang besar dan sifat yang kohesif serta deformasi yang terjadi sangat besar. Dengan adanya permasalahan tersebut maka alternatif usaha perbaikan yang dilakukan antara lain melalui usaha stabilisasi, baik secara mekanis maupun menambahkan bahan tambah tertentu. Salah satu perkuatan tanah yang coba dilakukan adalah dengan menggunakan limbah material plastik botol air mineral yang dipotong secara zig-zag, selain tidak mudah membusuk juga untuk mengurangi bertambahnya volume sampah plastik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sampah plastik khususnya potongan limbah material plastik terhadap parameter kuat tekan bebas dan geser langsung. Kuat tekan bebas dan geser langsung merupakan pengujian yang umum dilaksanakan dan dipakai dalam proses penyelidikan sifat-sifat stabilisasi tanah.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan untuk memperkecil ruang lingkup penelitian agar lebih fokus pada masalah yang akan dikaji, batasan masalah tersebut antara lain:

1. Lempung : Berasal dari Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta.
2. Bahan tambah : Limbah plastik botol air mineral yang telah dipotong dengan beberapa variasi ukuran dari ukuran 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm dengan persentase 0%, 1%, 2% dan 3%. Dimensi tersebut diharapkan pencampuran akan lebih homogen
3. Cara Pengujian : Uji Tekan Bebas dan Uji Geser Langsung

C. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas dapat dirumuskan suatu permasalahan, yaitu:

1. Apa jenis tanah lunak/kohesif Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta menurut Klasifikasi Tanah Sistem *Unified* atau menurut AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*)?
2. Berapa nilai q_u , ϕ , dan c tertinggi pada pengujian tekan bebas dan geser langsung lempung Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta yang diberi campuran potongan limbah material

plastik dengan ukuran 0,5 cm x 1 cm dan pada persentase (0 %, 1%, 2%, dan 3%)?

3. Berapa nilai q_u , ϕ , dan c tertinggi pada pengujian tekan bebas dan geser langsung lempung Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta yang diberi campuran potongan limbah material plastik dengan ukuran 1 cm x 1 cm dan pada persentase (0 %, 1%, 2%, dan 3%)?

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui jenis tanah lempung Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta menurut Klasifikasi Tanah Sistem *Unified* atau menurut AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*).
2. Untuk mengetahui berapa nilai q_u , ϕ , dan c tertinggi pada pengujian tekan bebas dan geser langsung lempung Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta yang diberi campuran potongan limbah material plastik dengan ukuran 0,5 cm x 1 cm dan pada persentase (0%, 1%, 2%, dan 3%).
3. Untuk mengetahui berapa nilai q_u , ϕ , dan c tertinggi pada pengujian tekan bebas dan geser langsung lempung Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta yang diberi campuran

potongan limbah material plastik dengan ukuran 1 cm x 1 cm dan pada persentase (0%, 1%, 2%, dan 3%).

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu dapat mengurangi limbah plastik yang sulit terurai secara alami, dengan begitu dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh sampah plastik.

Penelitian ini juga sangat bermanfaat bagi perencanaan konstruksi bangunan khususnya pada daerah yang tanahnya kurang baik untuk mendirikan bangunan misalnya daerah yang memiliki tanah dengan kembang susut tinggi seperti pada daerah persawahan dengan jenis tanah lempung.

Selain itu, penelitian ini diharapkan akan mampu meningkatkan kekuatan dan kestabilan tanah lempung sehingga dapat digunakan untuk mendirikan konstruksi bangunan maupun perkerasan jalan raya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

1. Pengertian Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya (Hary Christady Hardiyatmo, 2012:1).

Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi didekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh *oksigen*, *karbondioksida*, air (terutama mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*) (Hary Christady Hardiyatmo, 2012:1).

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis (Hary Christady Hardiyatmo, 2012:1).

2. Klasifikasi Tanah

Menurut Hary Christady Hardiyatmo (2012:58) umumnya, penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu seperti:

- a. Penentuan penurunan bangunan, yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanah. Dari sini, selanjutnya digunakan dalam persamaan penurunan yang didasarkan pada teori konsolidasi, misalnya teori Terzaghi.
- b. Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji guna menghitung koefisien permeabilitas. Dari kemudian dihubungkan dengan Hukum Darcy dan jaring arus (*flownet*) untuk menentukan debit aliran yang lewat struktur tanah.

- c. Untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, yaitu dengan menentukan kuat geser tanah. Dasar sini kemudian disubstitusikan dalam rumus statika (stabilitas lereng).

Dalam banyak masalah teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendungan dalam urugan, dan lain-lainya), pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun sub kelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu. Klasifikasi tanah membantu perancang dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancang harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979 dalam Hary Christady Hardiyatmo, 2012: 58).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi

tanah dari sistem *Unified* pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik (Hary Christady Hardiyatmo, 2012: 59).

a. Sistem Klasifikasi *Unified*

Pada Sistem Klasifikasi *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok.

Simbol-simbol yang digunakan adalah:

G	:	Kerikil (<i>gravel</i>)
S	:	Pasir (<i>sand</i>)
C	:	Lempung (<i>clay</i>)
M	:	Lanau (<i>silt</i>)
O	:	Lanau atau Lempung Organik (<i>organic silt or clay</i>)
Pt	:	Lanau atau Lempung Organik (<i>organic silt or clay</i>)
W	:	Gradasi baik (<i>well-graded</i>)
P	:	Gradasi buruk (<i>poorly-graded</i>)
H	;	Plastisitas tinggi (<i>high-plastikity</i>)
L	:	Plastisitas rendah (<i>low-plastikity</i>)

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
			SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil banyak kandungan butiran halus	SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
			SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	
			ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
			CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair > 50 % atau kurang	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis		
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan kadar organik tinggi		P _I	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 : GW, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan no. 200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol doble	
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ antara 1 dan 3}$	Kriteria laboratorium
Tidak memenuhi kriteria untuk GW	
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_L < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$	Bila batas Atterberg berada di daerah aris dari diagram plastisitas, maka dipakai doble simbol
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ antara 1 dan 3}$	
Tidak memenuhi kriteria untuk SW	
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_L < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$	Bila batas Atterberg berada di daerah aris dari diagram plastisitas, maka dipakai doble simbol

Indeks Plastisitas, P_I (%)

Diagram plastisitas:
Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol

Batas Cair LL (%)
Garis A : $P_I = 0,73 (LL - 20)$

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di
ASTM Designation D-2488

(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2012:61)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem *Unified* adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomer 200.
- 2) Jika tanah berupa butiran kasar:
 - a) Menyaring tanah tersebut dan menggambarkan grafik distribusi butiran.
 - b) Menentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai pasir.
 - c) Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka tanah tersebut diklasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 di antara 5 sampai 12%, tanah

akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).

- d) Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12%, uji batas-batas Atterberg dilakukan dengan memisahkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).

3) Jika tanah berupa butiran halus:

- a) Mengerjakan uji batas-batas Atterberg dengan memisahkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
- b) Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, menentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MK). Jika plotnya jatuh di atas garis A, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai CH.
- c) Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang diarsir, kemudian menentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasarkan

warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.

- d) Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, digunakan simbol dobel.

b. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok (Tabel 2) tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg.

Indeks kelompok GI (*group index*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(PI - 10) \dots (1)$$

dengan,

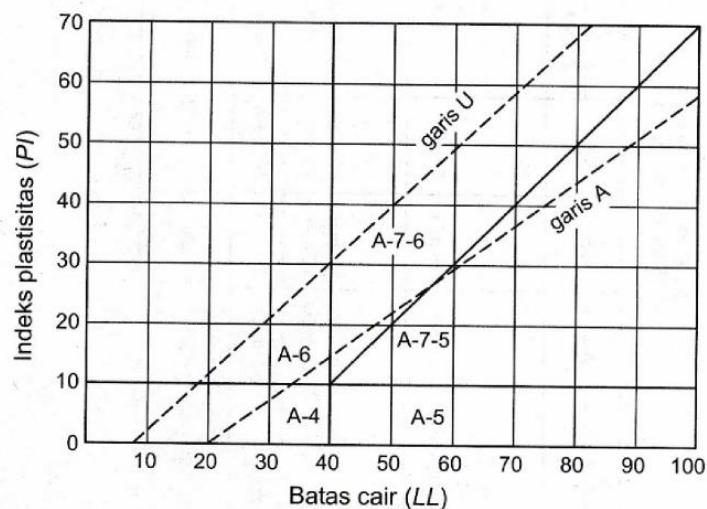
GI = Indeks Kelompok (*Group Indeks*)

F = Persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm) (%)

LL = batas cair (*Liquid Limit*) (%)

PI = indeks plastisitas (*Platicity Index*) (%)

Bila indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaan. Tanah *granuler* diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah *granuler* bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah *granuler* (kurang dari 35% lolos saringan no. 200), tapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau. Beda keduanya didasarkan pada batas-batas Atterberg. Gambar 1 dapat digunakan untuk memperoleh batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok A-4 sampai A-7 dan untuk sub kelompok dalam A-2.



Gambar 1. Batas-batas Atterberg untuk sub kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7

(sumber: Hary Christady Hardiyantmo, 2012:66)

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi umum	Material <i>granuler</i> ($<35\%$ lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau-lempung ($>35\%$ lolos saringan no.200)				
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6	
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50 maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	
Sifat Fraksi lolos saringan no.40	-		-	40 maks 41 maks 40 maks 41 min 11 min 11 min				40 maks 41 min 10 maks 11 maks 40 maks 41 min 11 min				
Batas cair	-		-									
Indeks Plastis	6 maks		Np	10 maks 10 maks				11 min 4 maks				
Indeks kelompok (GI)	0		0	0				8 maks 12 maks 16 maks 20 maks				
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil da pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir								
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk				

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5;

Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6

Np = Nonplastis

Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2012:65

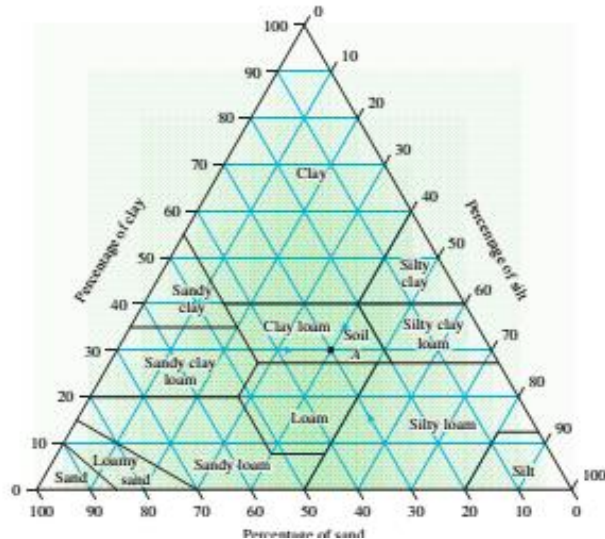
Dalam gambar 1. garis-A dari Casagrande digambarkan bersama-sama dengan garis U yang dinyatakan oleh persamaan: $PI = 0,9(LL - 8)$. Garis U ini adalah garis batas atas dari hubungan LL dan PI untuk tanah-tanah di alam pada umumnya (Holtz dan Kovacs, 1981 dalam Hary Christady Hardiyatmo, 2012:66). Tanah organik tinggi seperti tanah gambut (*peat*) diletakkan dalam kelompok A-8.

c. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butir

Meskipun memiliki kelemahan-kelemahan, klasifikasi tanah atas dasar karakteristik ukuran butiran digunakan secara luas terutama untuk uraian pendahuluan atau umum. Penentuan nama tanah misalnya “lanau” atau “lempung” membedakan fraksi-fraksi ukuran butiran merupakan hal yang biasa dilakukan sehubungan dengan klasifikasi semacam itu. Dalam banyak hal, catatan-catatan yang menyangkut tanah dan perilakunya mengandung tidak lebih daripada hasil-hasil analisis mekanik untuk fraksi berbutir kasar dan persentase total yang lolos ayakan nomor 200. (Karl Terzaghi & Ralph B. Peck, 1993:29 dalam Dian Widhi Atmoko, 2015:21).

Penentuan tanah dengan nama unsur penyusun utamanya dimungkinkan dengan menggambar diagram yang dipakai Biro Jalan Umum (*Bureau of Public Road*). (Rose, 1924). Dalam diagram ini masing-masing dari ketiga sumbu koordinat menyatakan salah satu dari fraksi-fraksi ukuran butir yang diaktan sebagai pasir, lanau dan

lempung. (Karl Terazaghi & Ralph B. Peck, 1993:30-31 dalam Dian Widhi Atmoko, 2015:21)



Gambar 2. Diagram Identifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Butir (U.S Department of Agriculture Braja M. Das, 2010:96 dalam Dian Widhi Atmoko, 2015:22)

B. Lempung

1. Pengertian Lempung

Pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0.002 mm, yang disebut mineral lempung. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari *silica tetrahendra* dan *aluminium oktahendra* (Hary Christady Hardiyatmo, 2012:24). Lempung bersifat plastis dalam keadaan air sedang sampai tinggi, dalam keadaan kering sangat keras dan tidak mudah terkelupas.

Permeabilitas lempung sangat rendah, pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung bersifat lengket (K. Terzaghi dan Ralph B. Peck, 1993: 5 dalam Dian Widhi Atmoko, 2015:36).

Lempung organik adalah lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi oleh adanya bahan organik yang terpisah. Dalam keadaan jenuh lempung organik cenderung bersifat sangat kompresibel, tapi dalam keadaan kering kekuatannya (*strength*) sangat tinggi. Warnanya biasanya abu-abu tua atau hitam, disamping itu mungkin berbau mencolok (K. Terzaghi dan Ralph B. Peck, 1993:5 dalam Dian Widhi Atmoko, 2015:36).

2. Sifat Umum Material Lempung

Menurut E. Sutarman (2013:11), mineral-mineral pada tanah lempung umumnya memiliki sifat-sifat:

a. Hidrasi

Partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air (*absorbed water*), mempunyai tebal dua molekul (*diffuse layer*). Air dan atau logam tertarik lapisan ini dengan kuat. Difusi kation dan mineral lempung meluas keluar dari permukaan lempung sampai ke lapisan air. Pengaruh ini menyebabkan daya netto (+) di dekat partikel mineral dan daya (-) pada jarak yang lebih jauh.

Difusi kation ini merupakan fenomena bersamaan dengan difusi pertemuan di antara muka air bebas dan atmosfer dimana material yang mengalami difusi tersebut adalah molekul air. Air tertarik dengan kuat sehingga lebih bersifat sebagai benda padat daripada benda cair. Kerapatan air (ρ_w) = 1,4 gr/cm³.

Mineral lempung mempunyai daya tarik yang cukup terhadap ion-ion H⁺ sehingga lapisan air setinggi 400 Å akan dapat menutupi. Hal ini menunjukkan perbedaan antara kaolinite dengan montmorillonite dalam kadar air lapangan dan batas cair yang memungkinkan.

b. Aktivitas

Lempung mempunyai daya netto negative pada tepi-tepi mineralnya sehingga mengakibatkan usaha penyeimbang dengan tarikan kation dan proporsional terhadap kekurangan daya netto yang dapat dihubungkan dengan aktivitas dari lempung, dengan persamaan:

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{Indeks Plastis (PI)}}{\text{Persentase Lempung}} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai khas aktivitas dari mineral lempung ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Khas Aktivitas Mineral Lempung

Mineral	Aktivitas
<i>Kailinite</i>	0,3 – 0,5
<i>Illite</i>	0,5 – 1,2
<i>Montmorillonite</i>	1,5 – 7,0
<i>Halloysite</i> (terhidrasi)	0,1 – 0,2
<i>Holloysite</i> (tidak terhidrasi)	0,4 – 0,6
<i>Attapulgit</i>	0,4 – 1,3
<i>Allohane</i>	0,4 – 1,3

Sumber: Mitchell, 1976 dan Skemton, 1953 dalam Braja M. Das, (2010:80)

Nilai aktivitas diatas didefinisikan secara numerik, tetapi lebih baik dan praktis dari nilai aktivitas lempung yaitu dengan nilai susut, yang merupakan batas dari kadar air sebelum terjadinya perubahan volume.

c. Pengaruh Air pada Lempung

Air biasanya tidak banyak mempengaruhi kelakuan tanah non kohesif (*granuler*). Sebagai contoh, kuat geser tanah pasir mendekati sama pada kondisi kering maupun jenuh air. Tetapi, jika air berada pada lapisan pasir yang tidak padat, beban dinamis seperti gempa bumi dan getaran lainnya sangat mempengaruhi kuat gesernya. Sebaliknya, tanah berbutir halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Karena pada tanah berbutir halus, luas permukaan spesifik menjadi besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas menjadi tanah. Distribusi ukuran butir tanah umumnya bukan faktor yang mempengaruhi kelakuan tanah berbutir halus. Identifikasi tanah jenis ini dilakukan dengan pengujian batas Atterberg (Hary Christady Hardiyatmo, 2012:29)

Ikatan antara partikel tanah yang disusun oleh mineral lempung akan sangat dipengaruhi oleh besarnya jaringan muatan negatif pada mineral, tipe, konsentrasi dan distribusi kation-kation yang berfungsi untuk mengimbangkan muatannya.

C. Stabilisasi Tanah

Maksud stabilisasi tanah adalah untuk menambah kapasitas dukung tanah dan kenaikan kekuatan yang akan diperhitungkan pada proses perancangan tebal perkerasan. Karena itu, stabilitas tanah membutuhkan metode modifikasi tanah. Beberapa cara stabilitas tanah, misalnya: pemadatan, mencampur tanah dengan bahan *granuler*, menggunakan tulangan atau perkuatan (seperti *geosintetik*), penggalian dan penggantian tanah, dan lain-lain, serta memproses tanah secara kimia, seperti: mencampur tanah dengan semen, kapur, abu-terbang, aspal dan lain-lain (Hary Christady Hardiyatmo, 2010).

Menurut Hary Christady Hardiyatmo, (2010), tipe-tipe stabilisasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Stabilisasi Mekanik

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan di lokasi proyek, dipabrik atau ditempat pengambilan bahan timbunan (*borrow area*).

Material yang telah dicampur ini, kemudian dihamparkan dan dipadatkan di lokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk ditempat dan menggantinya dengan material *granuler* dari tempat lain.

Menurut Lambe (1962) dalam Hary Christady Hardiyatmo (2010), stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat-sifat tanah:

- a. Penyusunan kembali partikel-partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu, dan pemadatan.
- b. Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah. Sifat-sifat tanah tertentu dapat diubah dengan menambah atau menyingkirkan sebagian fraksi tanah. Biaya yang dikeluarkan untuk menambah atau menyingkirkan ini umumnya sangat lebih rendah dibandingkan dengan metode stabilisasi yang lain. Contohnya, lempung berpasir dicampur dengan kerikil untuk memenuhi daya dukung tanah dasar dari proyek jalan tertentu.

2. Stabilisasi dengan Menggunakan Bahan Tambah

Bahan-bahan *additives* adalah bahan hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti: kekuatan, tekstur, kemudahan dikerjakan (*workability*) dan plastisitas. Contoh-contoh

bahan tambah adalah: kapur, semen portland, abu-terbang (*fly-ash*), aspal (*bitumen*) dan lain-lain.

Stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah atau sering disebut juga stabilisasi kimiawi bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, dengan cara mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu. Perbandingan campuran bergantung pada kualitas campuran yang diinginkan. Jika pencampuran hanya dimaksudkan untuk merubah gradasi dan plastisitas tanah, dan kemudahan dikerjakan, maka hanya memerlukan bahan tambah sedikit. Namun, bila stabilisasi dimaksudkan untuk merubah tanah agar mempunyai kekuatan tinggi, maka diperlukan bahan tambah yang lebih banyak. Material yang telah dicampur dengan bahan tambah ini harus dihamparkan dan dipadatkan dengan baik.

D. Plastik

Plastik pertama kali diperkenalkan oleh Alexander Parkes pada tahun 1862 di sebuah pameran internasional di London, Inggris. Plastik temuan Parkes disebut parkesine yang dibuat dari bahan organik selulosa (Victor Rizal Filosofi, 2010). Kemudahan dan keistimewaan plastik telah menggantikan bahan seperti logam dan kayu dalam membantu kehidupan manusia.

1. Bahan dan Kandungan yang Terdapat dalam Plastik

Pengembangan plastik berasal dari penggunaan material alami sampai ke material kimia dan akhirnya ke molekul buatan manusia seperti *polyethylene*. Plastik yang umum terdiri dari polimer karbon saja atau dengan oksigen, nitrogen, klorin atau belerang (Feri Kusnandar, 2010 dalam Abu Muawiah, 2012). Untuk membuat plastik dibutuhkan 12 juta barel minyak per tahun, dan 14 juta pohon ditebang, karena kantong plastik terbuat dari penyulingan gas dan minyak yang disebut *ethylene*.

2. Jenis Plastik

Menurut Ulli Hermono (2009) dalam Abu Muawiah (2012), secara garis besar plastik dapat digolongkan menjadi dua jenis, yakni plastik yang bersifat *thermoplastik* dan yang bersifat *thermoset*. Plastik yang paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah bentuk *thermoplastik*.

a. *Thermoplastik*

Merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang atau dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Contoh: *polietilen* (PE), *polistiren* (PS), ABS, *polikarbonat* (PC) (Victor Rizal Filosofi, 2010).

b. *Thermoset*

Merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur ulang atau dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-

molekulnya. Contoh: *resin epoksi, bakelit, resin melamin, urea-formaldehida* (Victor Rizal Filosofi, 2010).

Simbol daur ulang (*recycle*) menunjukkan jenis bahan resin yang digunakan untuk membuat materi. Simbol ini dibentuk berdasar atas Sistem Internasional koding plastik dan lazim digambarkan sebagai angka (dari 1 sampai 7) dilingkari dengan segitiga atau loop segitiga biasa (juga dikenal sebagai Mobius Loop), dengan akronim dari bahan yang digunakan, tepat dibawah segitiga (Abu Muawiah, 2012).

Berikut adalah diskripsi singkat dari masing-masing 7 simbol daur ulang yang sering kita lihat:

a. PET (*Polyethylene Terephthalate*) atau PETE

Logo daur ulang dengan angka 1 di tengah serta tulisan PET atau PETE dibawah segitiga. Biasa dipakai untuk botol air mineral, botol jus, wadah makan, botol minyak goreng, dan sebagainya. Plastik dengan logo PET (*Polyethylene Terephthalate*) atau PETE di rekomendasikan hanya sekali pakai.



Gambar 3. Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) atau PETE
Sumber: anonim, 2011. *Mengenal Tanda-tanda Plastik*

b. HDPE (*High Density Polyethylene*)

Logo daur ulang dengan angka 2 di tengah serta tulisan HDPE dibawah segitiga. Biasa dipakai untuk botol susu yang berwarna putih susu, *Tupperware*, gallon air minum, kursi lipat, dan sebagainya. Plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram, dan lebih tahan lama terhadap suhu tinggi. Merupakan salah satu bahan plastik yang aman untuk digunakan karena kemampuan untuk mencegah reaksi kimia antara kemasan plastik berbahan HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan makan/minuman yang dikemasnya. Seperti PET (*Polyethylene Terephthalate*) atau PETE, HDPE (*High Density Polyethylene*) direkomendasikan hanya sekali pakai karena pelepasan senyawa *antimoni trioksida* terus meningkat seiring waktu.



Gambar 4. Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*)
Sumber: anonim, 2011. *Mengenal Tanda-tanda Plastik*

c. PVC (*Polyvinyl Chloride*)

Logo daur ulang dengan angka 3 di tengah terkadang logo ini berwarna merah serta tulisan V, V berartikan PVC (*Polyvinyl Chloride*) yaitu jenis plastik yang paling sulit untuk didaur ulang. Plastik jenis ini biasa digunakan untuk plastik pembungkus (*cling crap*) dan botol-botol. Reaksi yang terjadi antara PVC (*Polyvinyl Chloride*) dengan makanan yang dikemas dengan plastik jenis ini berpotensi berbahaya untuk ginjal, hati dan berat badan.



Gambar 5. Plastik PVC (*Polyvinyl Chloride*)
Sumber: anonim, 2011. *Mengenal Tanda-tanda Plastik*

d. LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Logo daur ulang dengan angka 4 di tengah serta tulisan LDPE. LDPE (*Low Density polyethylene*) yaitu plastik tipe cokelat (*thermoplastik*/dibuat dari minyak bumi), biasa dipakai untuk tempat makanan, plastik kemasan, botol-botol yang lembek, pakaian, bebel, dan lain-lain. Sifat mekanis jenis LPDE (*Low Density polyethylene*)

ini adalah kuat, tembus pandang, fleksibel, dan permukaan gak berlemak.



Gambar 6. Plastik LPDE (*Low Density polyethylene*)
Sumber: anonim, 2011. *Mengenal Tanda-tanda Plastik*

e. PP (*Polypropylene*)

Tertera logo daur ulang dengan angka 5 ditengahnya serta tulisan PP. Karakteristik PP (*Polypropylene*) adalah botol transparan yang tidak jernih atau berawan, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap.



Gambar 7. Plastik PP (*Polypropylene*)
Sumber: anonim, 2011. *Mengenal Tanda-tanda Plastik*

f. PS (*Polystyrene*)

Tertera logo daur ulang dengan angka 6 serta tulisan PS. Biasa dipakai sebagai bahan tempat makanan *styrofoam*, tempat minum sekali pakai, dan lain-lain. PS (*Polystyrene*) merupakan *polimer* aromatic yang dapat mengeluarkan bahan *styrene* ke dalam makanan ketika makanan tersebut bersentuhan. Selain tempat makan *styrene* juga bias didapatkan dari asap rokok, asap kendaraan dan bahan konstruksi gedung.



Gambar 8. Plastik PS (*Polystyrene*)
Sumber: anonim, 2011. *Mengenal Tanda-tanda Plastik*

g. OTHER (*Polycarbonate*)

Logo daur ulang dengan angka 7 serta tulisan *OTHER*. Untuk jenis plastik 7 OTHER ini ada 4 macam, yaitu: SAN (*Styrene Acrylonitrile*), ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), PC (*Polycarbonate*), dan Nylon. Dapat ditemukan pada tempat makanan dan minuman, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, dan plastik kemasan.



Gambar 9. Plastik jenis OTHER
 Sumber: anonim, 2011. *Mengenal Tanda-tanda Plastik*

E. Pengujian Sifat Fisik Tanah

Adapun pengujian-pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Kadar Air Tanah

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah. Kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut (ASTM D 2216-71). Kadar air tanah dapat dihitung dengan persamaan 3, dengan rumus sebagai berikut:

$$w = \frac{(W_3 - W_2)}{(W_2 - W_1)} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

w = kadar air tanah (%)

W₁ = berat cawan kosong (gr)

W₂ = berat cawan + tanah basah (gr)

W₃ = berat cawan + tanah kering (gr)

2. Berat Jenis

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis suatu tanah. Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu, biasanya diambil pada suhu 27,5° C (ASTM D 854-83).

a. Berat Jenis Tanah pada Suhu $t^{\circ}\text{C}$

Berat Jenis tanah pada suhu $t^{\circ}\text{C}$ dapat dihitung dengan persamaan 4, yaitu sebagai berikut:

$$G = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

W_1 = berat piknometer kosong (gr)

W_2 = berat piknometer kosong + tanah kering (gr)

W_3 = berat piknometer kosong + tanah + air (gr)

W_4 = berat piknometer kosng + air (gr)

b. Berat Jenis pada Temperatur 27,5 $^{\circ}\text{C}$

Berat Jenis tanah pada temperatur 27,5 $^{\circ}\text{C}$ dapat dihitung dengan persamaan 5, sebagai berikut:

$$G(27,5^0) = G(t^0) \frac{\text{berat jenis air pada } t^0\text{C}}{\text{berat jenis air pada } 27,5^0\text{C}} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

G = berat jenis tanah

Tabel 4. Daftar Berat Jenis Air

Temperatur (t°C)	Berat Jenis	Temperatur (t°C)	Berat Jenis
20	0,9982	31	0,9954
21	0,9980	32	0,9951
22	0,9978	33	0,9947
23	0,9976	34	0,9944
24	0,9973	35	0,9941
26	0,9971	36	0,9937
27	0,9968	37	0,9934
27,5	0,9965	38	0,9930
28	0,9963	39	0,9926
29	0,9960	40	0,9922
30	0,9957		

3. Batas Konsistensi Tanah (Atterberg)

Batas konsistensi tanah dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

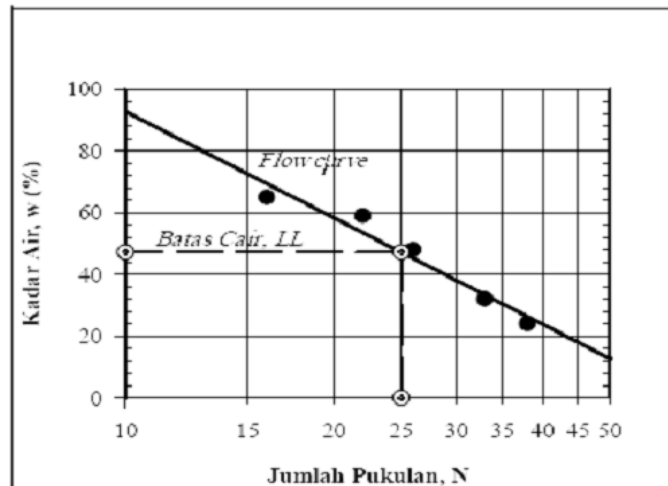
a. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan batas cair tanah.

Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis, batas cair untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no. 40 (ASTM D 423-66).

Batas cair biasanya ditentukan dari uji *Casagrande* (1948).

Kemudian hasil yang telah didapatkan dibuat grafik hubungan kadar air dan jumlah pukulan yang digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan.



Gambar 10. Grafik Penentuan Batas Cair Tanah Lempung
(Hary Christady Hardiyatmo, 2012: 49)

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*) dan Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas plastisitas. Batas plastisitas adalah kadar air minimum suatu tanah dalam keadaan plastisitas (ASTM D 424-74). Indeks plastisitas dapat dihitung dengan persamaan 6, sebagai berikut:

$$PI = LL - PL \quad \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

PI = Indeks Plastisitas (%)

LL = Batas Cair (%)

PL = Batas Plastis (%)

c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut. Batas susut tanah adalah kadar air tanah minimum yang masih dalam keadaan *semi solid*, dan juga

merupakan batas antara keadaan semi *solid* dan *solid* (ASTM D 427-74).

1) Batas Susut (SL)

- a) Bila benda uji telah diketahui nilai berat jenisnya, maka SL dapat dihitung dengan persamaan 7, sebagai berikut:

$$SL = \left(\frac{V_0}{W_0} - \frac{1}{G} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

SL = berat susut tanah (%)

W_0 = berat benda uji setelah kering (gr)

V_0 = volume benda uji setelah kering (cm³)

G = berat jenis tanah

- b) Apabila nilai berat jenisnya belum diketahui, maka SL dapat dihitung dengan persamaan 8, sebagai berikut:

$$SL = \left(w - \frac{V - V_0}{V_0} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

SL = berat susut tanah (%)

w = kadar air tanah basah yang diisikan pada cawan

$$= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\%$$

W = berat benda uji basah (gr)

W_0 = berat benda uji setelah kering (gr)

V = volume benda uji basah = volume cawan (cm³)

V_0 = volume benda uji setelah dikeringkan (cm³)

2) Angka Susut (SR)

- a) Angka susut adalah suatu angka perbandingan antara persentase perubahan volume kering dengan perubahan kadar air yang terjadi pada tanah (%) dan berlaku pada keadaan diatas, batas susut tanah atau dengan persamaan 9, sebagai berikut:

$$SR = \frac{\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)}{\Delta w} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

SR = angka susut (%)

$\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)$ = regangan volumetrik (%)

Δw = perubahan kadar air (%)

- b) Nilai angka susut juga dapat dihitung dengan persamaan 10, sebagai berikut:

$$SR = \frac{W_0}{V_0} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

SR = angka susut (%)

W_0 = berat benda uji setelah kering (gr)

V_0 = volume benda uji setelah kering (cm³)

3) Susut Volumetrik (VS)

Susut volumetrik adalah persentase pengaruh volume tanah basah terhadap volume tanah kering apabila tanah pada suatu

keadaan air tertentu dikeringkan hingga pada batas susut tanah atau dapat dihitung dengan persamaan 11, sebagai berikut:

$$VS = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

Besarnya VS dapat dihitung sebagai berikut:

$$VS = (w_1 - SL)SR \quad \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:

VS = susut volumetrik (%)

w₁ = kadar air tanah basah (%)

SL = batas susut tanah (%)

SR = angka susut tanah (%)

4) Susut Linier (LS)

Susut linier suatu tanah adalah persentase pengurangan ukuran suatu dimensi (panjang) tanah terhadap ukuran semula apabila kadar air tanah berkurang menjadi batas susut tanah. Besarnya susut linier dapat dihitung dengan Persamaan 13, sebagai berikut:

$$LS = 100 \left(1 - \sqrt[3]{\frac{100}{VS + 100}} \right) \quad \dots\dots\dots (13)$$

5) Berat Jenis Tanah (G_s)

Dari data hasil pengujian yaitu angka susut volumetrik, berat jenis tanah dapat dihitung dengan persamaan 14, sebagai berikut:

$$G = \frac{1}{\frac{1}{SR} - \frac{SL}{100}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

4. Distribusi Ukuran Butiran

a. Analisa *Hydrometer*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang tidak mengandung butir tanah tertahan oleh saringan nomor 10. Pengujian dilakukan dengan analisa sedimen menggunakan *hydrometer* (ASTM D 421-72).

- 1) Menghitung ukuran butir-butir terbesar D (mm), yang ada dalam *suspensi* pada kedalaman efektif L (cm), untuk setiap saat pembacaan pada menit ke T dengan persamaan 15, sebagai berikut:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan:

D = ukuran butir terbesar (mm)

K = konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh temperatur
(t^o)C suspensi dan berat jenis butir tanah (G_s)

L = kedalaman efektif, yang nilainya ditentukan oleh jenis
hidrometer yang dipakai dan pembacaan hidrometer
pada suspensi (R1) yang dipakai (cm)

T = saat pembacaan pada menit ke T (menit)

- 2) Menghitung persentase berat (P%) dari butir yang lebih kecil dari pada (D) terhadap berat kering seluruh tanah yang diperiksa dengan persamaan sebagai berikut:

- a) Jika digunakan *hydrometer* 151 H, maka dapat dihitung dengan persamaan 16, sebagai berikut:

$$P = \left(\frac{100}{W} - \frac{G_s}{G_s - 1} \right) \times (R - 1) \dots\dots\dots (16)$$

- b) Jika digunakan *hydrometer* 152 H, maka dapat dihitung dengan persamaan 17, sebagai berikut:

$$P = \frac{R \times a}{W} \times 100 \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan:

P = persentase berat (%)

R = pembacaan *hydrometer* terkoreksi

G_s = berat jenis tanah

a = angka koreksi untuk *hydrometer* 152 H terhadap berat jenis butir

W = berat benda uji

Tabel 5. Faktor Koreksi a, untuk *Hydrometer* 152 H Terhadap Berat Jenis Butir

Berat Jenis, G	Faktor Koreksi, a	Berat Jenis	Faktor Koreksi, a
2,95	0,94	2,65	1,00
2,90	0,95	2,60	1,01
2,85	0,96	2,55	1,02
2,80	0,97	2,50	1,03
2,75	0,98	2,45	1,05
2,70	0,99		

Sumber: Ukuran Butiran Tanah dengan Hidrometer (ASTM D 1140-00) dalam Prosedur Uji Distribusi ukuran Butir Tanah Teknik Sipil UGM

Tabel 6. Nilai K untuk Menghitung Diameter Butir dengan *Hydrometer*

Temperatur °C	Berat jenis butir tanah									
	2,450	2,500	2,550	2,600	2,650	2,700	2,750	2,800	2,850	
16	0,01510	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,01414	0,01394	0,01374	0,01356	
17	0,01511	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356	0,01338	
18	0,01492	0,01467	0,01443	0,01421	0,01399	0,01378	0,01359	0,01339	0,01321	
19	0,01474	0,01449	0,01425	0,01403	0,01382	0,01361	0,01342	0,01323	0,01305	
20	0,01456	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307	0,01289	
21	0,01438	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291	0,01273	
22	0,01421	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276	0,01258	
23	0,01404	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261	0,01243	
24	0,01388	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246	0,01229	
25	0,01372	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232	0,01215	
26	0,01357	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01218	0,01201	
27	0,01342	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204	0,01188	
28	0,01327	0,01304	0,01283	0,01264	0,01244	0,01225	0,01208	0,01191	0,01175	
29	0,01312	0,01290	0,01269	0,01249	0,01230	0,01212	0,01195	0,01178	0,01162	
30	0,01298	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01165	0,01149	

Sumber: Ukuran Butiran Tanah dengan Hidrometer (ASTM D 1140-00) dalam Prosedur Uji Distribusi ukuran Butir Tanah Teknik Sipil UGM

Tabel 7. Nilai Kedalaman Efektif (L) untuk *Hydrometer* 151 H

Pembacaan hidrometer (R_1 + koreksi meniskus)	Kedalaman efektif L (cm)	Pembacaan hidrometer (R_1 + koreksi meniskus)	Kedalaman efektif L (cm)
1,000	16,3	1,021	10,7
1,001	16,0	1,022	10,5
1,002	15,8	1,023	10,2
1,003	15,5	1,024	10,0
1,004	15,2	1,025	9,7
1,005	15,0		
		1,026	9,4
1,006	14,7	1,027	9,2
1,007	14,4	1,028	8,9
1,008	14,2	1,029	8,6
1,009	13,9	1,030	8,4
1,010	13,7		
		1,031	8,1
1,011	13,4	1,032	7,8
1,012	13,1	1,033	7,6
1,013	12,9	1,034	7,3
1,014	12,6	1,035	7,0
1,015	12,3		
		1,036	6,8
1,016	12,1	1,037	6,5
1,017	11,8	1,038	6,2
1,018	11,5		
1,019	11,3		
1,020	11,0		

Sumber: Ukuran Butiran Tanah dengan Hidrometer (ASTM D 1140-00) dalam Prosedur Uji Distribusi ukuran Butir Tanah Teknik Sipil UGM

Tabel 8. Nilai Kedalaman Efektif (L) untuk *Hydrometer* 152 H

Pembacaan hidrometer (R_1 + koreksi menikis)	Kedalaman efektif L (cm)	Pembacaan hidrometer (R_1 + koreksi menikis)	Kedalaman efektif L (cm)
0	16,3	31	11,2
1	16,1	32	11,1
2	16,0	33	10,9
3	15,8	34	10,7
4	15,6	35	10,6
5	15,5		
		36	10,4
6	15,3	37	10,2
7	15,2	38	10,1
8	15,0	39	9,9
9	14,8	40	9,1
10	14,7		
		41	9,6
11	14,5	42	9,4
12	14,3	43	9,2
13	14,2	44	9,1
14	14,0	45	8,9
15	13,8		
		46	8,8
16	13,7	47	8,6
17	13,5	48	8,4
18	13,3	49	8,3
19	13,2	50	8,1
20	13,0		
		51	7,9
21	12,9	52	7,8
22	12,7	53	7,6
23	12,5	54	7,4
24	12,4	55	7,3
25	12,2		
		56	7,1
26	12,0	57	7,0
27	11,9	58	6,8
28	11,7	59	6,6
29	11,5	60	6,5
30	11,4		

Sumber: Ukuran Butiran Tanah dengan Hidrometer (ASTM D 1140-00) dalam Prosedur Uji Distribusi ukuran Butir Tanah Teknik Sipil UGM

b. Analisa Saringan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no. 200 (ASTM D 422-72).

F. Pemadatan Tanah

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan tanah didalam silinder berukuran tertentu menggunakan alat penumbuk tertentu pula. Pengujian pemadatan dilakukan dengan menggunakan cetakan diameter 102 mm (4 inci), bahan tanah lolos saringan no.40. Kegunaan pengujian ini untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*) dan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) dari suatu tanah (ASTM D 698-70).

1. Berat Volume Basah (γ_b)

Berat Volume Basah dapat dihitung dengan persamaan 18, berikut:

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan:

γ_b = berat volume basah (gr/cm³)

W = berat tanah padat (gram)

V = volume silinder cetak (cm³)

2. Berat Volume Kering (γ_d)

Berat Volume Kering dapat dihitung dengan persamaan 19, sebagai berikut:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan:

γ_d = berat volume kering (gr/cm^3)

γ_b = berat volume basah (gr/cm^3)

w = kadar air (%)

G. Uji Kuat Tekan Bebas

1. Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan besar sudut geser dalam (ϕ), dan kuat tekan bebas tanah.

- a. Kuat tekan bebas (q_u) adalah besarnya tekanan axial (kg/cm^2) yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan regangan pemendekkan tanah hingga 20%. Apabila tanah sampai regangan pemendekkan 20% tersebut tanah tidak pecah maka dianggap runtuh (ASTM D 2166-85).
- b. Sudut geser dalam (ϕ) adalah kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah.

- c. Kohesi (c) merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan.

2. Analisa Hasil Pengujian

- a. Mengukur, mencatat dan menyeket sudut pecahnya (α)
- b. Menghitung regangan *axial* pada setiap pembacaan beban dengan persamaan 20, sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan:

ε = regangan

L_0 = tinggi benda uji semula (cm)

ΔL = pemendekkan tinggi benda uji (cm)

- c. Menghitung luas rata-rata benda uji dengan persamaan 21, sebagai berikut:

$$A = \frac{A_0}{(1-\varepsilon)} \text{ (cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (21)$$

Keterangan:

A_0 = luas penampang benda uji semula

- d. Menghitung tekanan *axial* yang bekerja pada benda uji setiap pembacaan beban dengan persamaan 22, sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (22)$$

Keterangan:

P = beban (kg)

A = luas terkoreksi (cm²)

- e. Menggambarkan kurva regangan (ϵ) sebagai absis dengan tegangan (σ), sebagai ordinat.

- f. Menghitung harga maksimal tekanan *axial* ϕ dan c dengan persamaan 23 sampai persamaan 25, sebagai berikut:

$$\theta = (45 + \frac{\phi}{2}) \dots\dots\dots (23)$$

$$q_u = 2.c.tg \theta \dots\dots\dots (24)$$

$$c = q_u / 2tg \theta \dots\dots\dots (25)$$

Keterangan:

q_u = kuat tekan bebas benda uji (kg/cm²)

θ = sudut bidang runtuh ($^{\circ}$)

c = kohesi (kg/cm²)

- g. Menentukan harga maksimum tekanan *axial* yang terjadi dari kurva tersebut. Tekanan maksimum ini dilaporkan sebagai “Kuat Tekan Bebas” benda uji yang diuji.

- h. Bila benda uji tidak mengalami pecah, kuat tekan bebas adalah tekanan pada regangan 20%.

H. Uji Geser Langsung

1. Tujuan Pengujian

Uji Geser Lansung merupakan pengujian yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat *Direct Shear Test Apparatus* untuk mengetahui parameter-parameter kekuatan geser tanah yaitu sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c) dalam kg/cm^2 . Untuk mendapatkan nilai sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c) perlu dilakukan percobaan dengan memakai nilai P (tegangan normal) yang berbeda.

2. Analisa Hasil Pengujian

- a. Hitung gaya geser (P) dengan mengalikan pembacaan arloji geser dengan angka kalibrasi cicin penguji, dan hitunglah dengan tegangan geser maksimum (τ) yaitu gaya geser maksimum dibagi luas bidang geser. Perhitungan dilakukan dengan persamaan 26, sebagai berikut:

$$\tau = \frac{P_{\max}}{A} \dots\dots\dots (26)$$

Keterangan:

τ = tegangan geser maksimum (kg/cm^2)

P_{\max} = gaya geser maksimum (kg)

A = luas bidang geser benda uji (cm^2)

- b. Buatlah grafik hubungan antara tekanan normal σ , dengan tegangan geser maksimum (τ). Hubungkan ketiga titik yang diperoleh sehingga membentuk garis lurus yang memotong sumbu vertikal (ϵ)

pada nilai kohesi (c) dan memotong sumbu horizontal (τ) dengan sudut geser tanah (ϕ) sesuai dengan persamaan 27, sebagai berikut

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (27)$$

Keterangan:

τ = tegangan geser maksimum (kg/cm^2)

c = kohesi tanah (kg/cm^2)

σ = tegangan normal bidang geser (kg/cm^2)

ϕ = sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

I. Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian-penelitian terdahulu yang pernah dilakukan adalah, sebagai berikut:

Menurut Sazuatmo, ST, 2011, meneliti tentang Pengaruh Material Plastik Terhadap Kekuatan Geser pada Tanah Lempung.

Pada penelitian Sazuatmo, (2011), penambahan kantong plastik dengan berbagai variasi ukuran dan kadar serat pada tanah lempung mampu menaikkan nilai kohesi tanah. Peningkatan nilai kohesi tanah paling besar didapat pada ukuran serat $2 \times 0,5 \text{ cm}^2$ dengan kadar serat 2% sebesar 148,15%, sedangkan pada ukuran serat $2 \times 1 \text{ cm}^2$ dengan kadar serat 1% sebesar 127,293%, untuk ukuran serat $2 \times 2 \text{ cm}^2$ dengan kadar serat 1% sebesar 134,377%. Peningkatan nilai kohesi tidak diikuti dengan nilai sudut

geser dalam tanah. Nilai sudut geser tanah cenderung menurun tetapi ada beberapa yang mengalami kenaikan, kenaikan yang terjadi sebesar 45,757% yang didapat pada ukuran serat $2 \times 2 \text{ cm}^2$ dengan kadar serat 2% sedang pada ukuran $2 \times 1 \text{ cm}^2$ dengan kadar serat sebesar 34,243%, sedangkan pada tanah asli sebesar 39,95. Penambahan kantong plastik dengan berbagai variasi ukuran dan kadar serat pada tanah lempung cenderung menaikkan kuat geser tanah. Peningkatan terbesar terjadi pada ukuran serat $2 \times 2 \text{ cm}^2$ dengan kadar serat 1% sebesar 84,538%, sedang pada ukuran serat $2 \times 1 \text{ cm}^2$ dengan kadar serat 2,5% sebesar 54,398%. Untuk ukuran serat $2 \times 0,5 \text{ cm}^2$ dengan kadar serat $2 \times 0,5 \text{ cm}^2$ dengan kadar serat 1 % sebesar 77,880 % dari tanah aslinya.

Menurut M. Iqbal Hermawan, 2015, meneliti tentang Korelasi Antara Kuat Tekan Bebas Dengan Kuat Geser Langsung Pada Tanah Lempung Yang Dicampur Dengan Zeolit.

Pada penelitian M. Iqbal Hermawan (2015), terjadi peningkatan nilai kuat tekan bebas (q_u) pada penambahan variasi campuran zeolit 10% sebesar 94,5%, yaitu pada tanah tanpa campuran sebesar $0,2975 \text{ kg/cm}^2$ menjadi $0,5787 \text{ kg/cm}^2$. Dari hasil pengujian kuat geser langsung terjadi peningkatan sebesar pada penambahan variasi zeolit sebanyak 10%, peningkatan terjadi pada nilai kohesi tanah yaitu sebesar 54,17% dari $0,24 \text{ kg/cm}^2$ menjadi $0,37 \text{ kg/cm}^2$, pada nilai kuat geser maksimum terjadi peningkatan sebesar 43,89% dari $0,4754 \text{ kg/cm}^2$, menjadi $0,6841 \text{ kg/cm}^2$. Dari hasil pengujian dengan

penambahan zeolit dengan variasi 6%, 8%, dan 10%, terjadi peningkatan pada kedua pengujian tersebut, jadi semakin meningkat nilai kuat tekan bebas tanah tersebut, maka semakin meningkat pula nilai kuat geser langsung pada tanah tersebut.

Menurut Dian Widhi Atmoko, 2015, meneliti tentang Pengaruh Penambahan Potongan Material Limbah Plastik Terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Kasongan, Bantul, Yogyakarta.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan Dian Widhi Atmoko (2015) terhadap kuat tekan bebas tanah lempung Kasongan dengan ukuran plastik 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm pada persentase 0%, 1%, 2% dan 3%. Hasil klasifikasi AASTHO tanah Kasongan diklasifikasikan A-7-6(11) yaitu tanah berlempung sedang sampai buruk. Untuk plastik dengan ukuran 0,5 cm x 1 cm nilai q_u pada persentase 0% sebesar 0,65345 kg/cm², 1% sebesar 0,77354 kg/cm², untuk 2% sebesar 0,77660 kg/cm² dan 3% sebesar 0,91286 kg/cm². Nilai ϕ persentase 0% sebesar 57,5°, 1% sebesar 85°, 2% sebesar 80° dan 3%. sebesar 68°. Nilai c persentase 0% sebesar 0,09552 kg/cm², 1% sebesar 0,10447 kg/cm², 2% sebesar 0,10604 kg/cm² dan 3% sebesar 0,07489 kg/cm².

Sedangkan untuk plastik dengan ukuran 1 cm x 1 cm nilai q_u pada persentase 0% sebesar 0,65345 kg/cm², 1% sebesar 0,92878 kg/cm², 2% sebesar 0,65672 kg/cm² dan 3% sebesar 0,59068 kg/cm². Nilai ϕ persentase 0% sebesar ϕ 57,5° , 1% sebesar 60°, 2% sebesar 60° dan 3%. sebesar 80°.

Nilai c persentase 0% sebesar $0,09552 \text{ kg/cm}^2$, 1% sebesar $0,04283 \text{ kg/cm}^2$, 2% sebesar $0,02873 \text{ kg/cm}^2$ dan 3% sebesar $0,05887 \text{ kg/cm}^2$.

Dengan penambahan plastik pada lempung terjadi peningkatan kekuatan tekan bebas, tetapi untuk kedua macam ukuran mempunyai sifat yang berbeda, pada ukuran plastik $0,5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$, nilai q_u meningkat dengan bertambahnya persentase plastik, sementara untuk ukuran $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ nilai q_u meningkat pada persentase 1% dan menurun pada persentase 2% dan 3%. Nilai kuat tekan bebas tertinggi yaitu pada campuran plastik 1% pada ukuran $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$.

Menurut Sidiqi Hajar, 2015, meneliti tentang Pengaruh Penambahan Potongan Material Limbah Plastik Terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Wates, Kulon Progo, Yogyakarta.

Hasil penelitian tanah lempung yang digunakan sebagai sampel penelitian berasal dari Wates, Kulon Progo, Yogyakarta termasuk dalam kategori tanah lempung lunak plastisitas tinggi dengan nilai *Plastikity Index* yang tinggi $> 17\%$. Klasifikasi Tanah Sistem Unified, tanah ini termasuk ke dalam kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (*fat clays*). Nilai kuat tekan bebas pada penambahan potongan material plastik ukuran $0,5 \times 1 \text{ cm}^2$ nilai q_u yang paling besar terjadi pada persentase 2 % dengan $q_u = 1,02766 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan nilai ϕ yang paling besar terjadi pada persentase 3% dengan $\phi = 82^\circ$, dan untuk nilai c yang paling besar terjadi pada persentase 0% dengan $c = 0,16134 \text{ kg/cm}^2$.

Nilai kuat tekan bebas pada penambahan potongan material plastik ukuran 1 x 1 cm. Nilai q_u yang paling besar terjadi pada persentase 1% dengan $q_u = 1,14489 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan nilai ϕ yang paling besar terjadi pada 1% dengan $\phi = 80^\circ$. Dan untuk nilai c yang paling besar terjadi pada persentase 0% dengan $c = 0,16134 \text{ kg/cm}^2$. Dari hasil pengujian dan analisis data, penambahan potongan limbah material plastik memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan tambah usaha stabilisasi terhadap tanah lempung, hal ini terbukti pada dengan peningkatan nilai kuat tekan bebas.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu melakukan penelitian dengan melakukan percobaan terhadap benda yang diteliti tanpa bahan tambah dibandingkan dengan benda yang diteliti dengan menggunakan bahan tambah yaitu cacahan limbah botol plastik dengan variasi ukuran yang berbeda. Tujuan dari metode eksperimen yaitu untuk menyelidiki sebab akibat dan pengaruh obyek penelitian satu sama lain untuk kemudian dibandingkan hasil dari penelitian ini.

B. Objek Penelitian

Pada penelitian ini tanah lempung yang digunakan berasal dari desa Punukan, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan untuk bahan campurannya menggunakan botol air mineral plastik yang di potong-potong secara zig-zag dengan variasi ukuran 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm.

C. Variabel Penelitian

Menurut Sugiyono (2006), variabel penelitian adalah segala sesuatu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga didapatkan sebuah informasi untuk diambil sebuah kesimpulannya.

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi timbulnya variabel terikat. Variabel bebas yang terdapat dalam penelitian ini adalah berat jenis tanah, batas-batas Atterberg, distribusi ukuran butir.

2. Variabel terikat

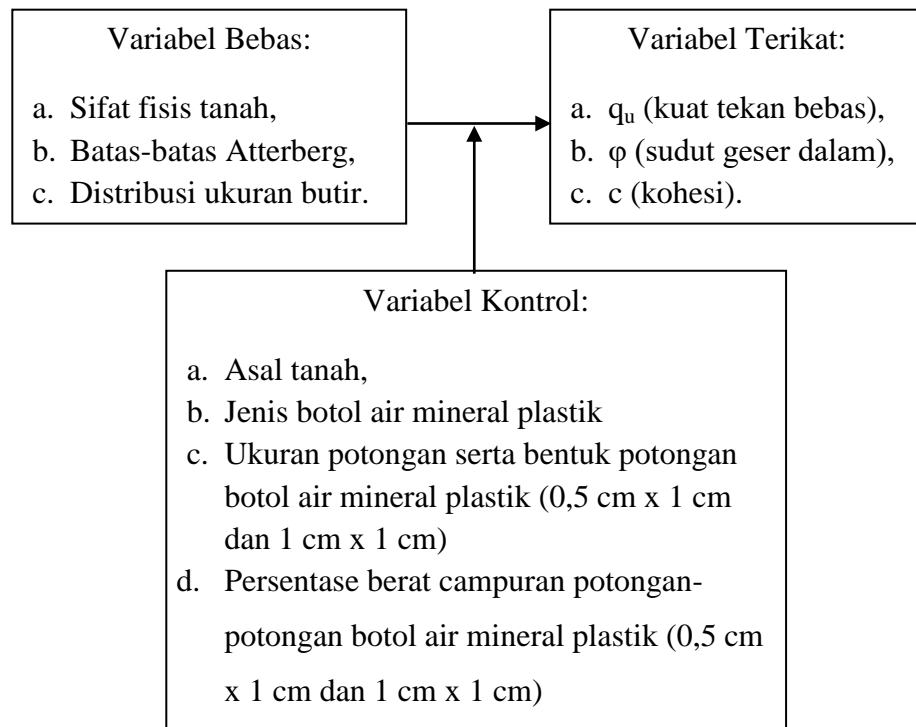
Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan bebas dan geser langsung lempung desa Punukan, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu q_u (kuat tekan bebas), ϕ (sudut geser dalam) dan c (kohesi).

3. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel konstan yang digunakan untuk membandingkan variabel lain. Faktor yang dapat mempengaruhi kuat tekan bebas lempung desa Punukan, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta adalah:

- a. Asal tanah
- b. Jenis botol air mineral plastik
- c. Ukuran potongan serta bentuk potongan botol air mineral plastik
- d. Persentase jumlah campuran potongan-potongan botol air mineral plastik
- e. Kadar air optimum

Untuk memperjelas hubungan antar variabel berikut disajikan pada gambar 11, sebagai berikut:



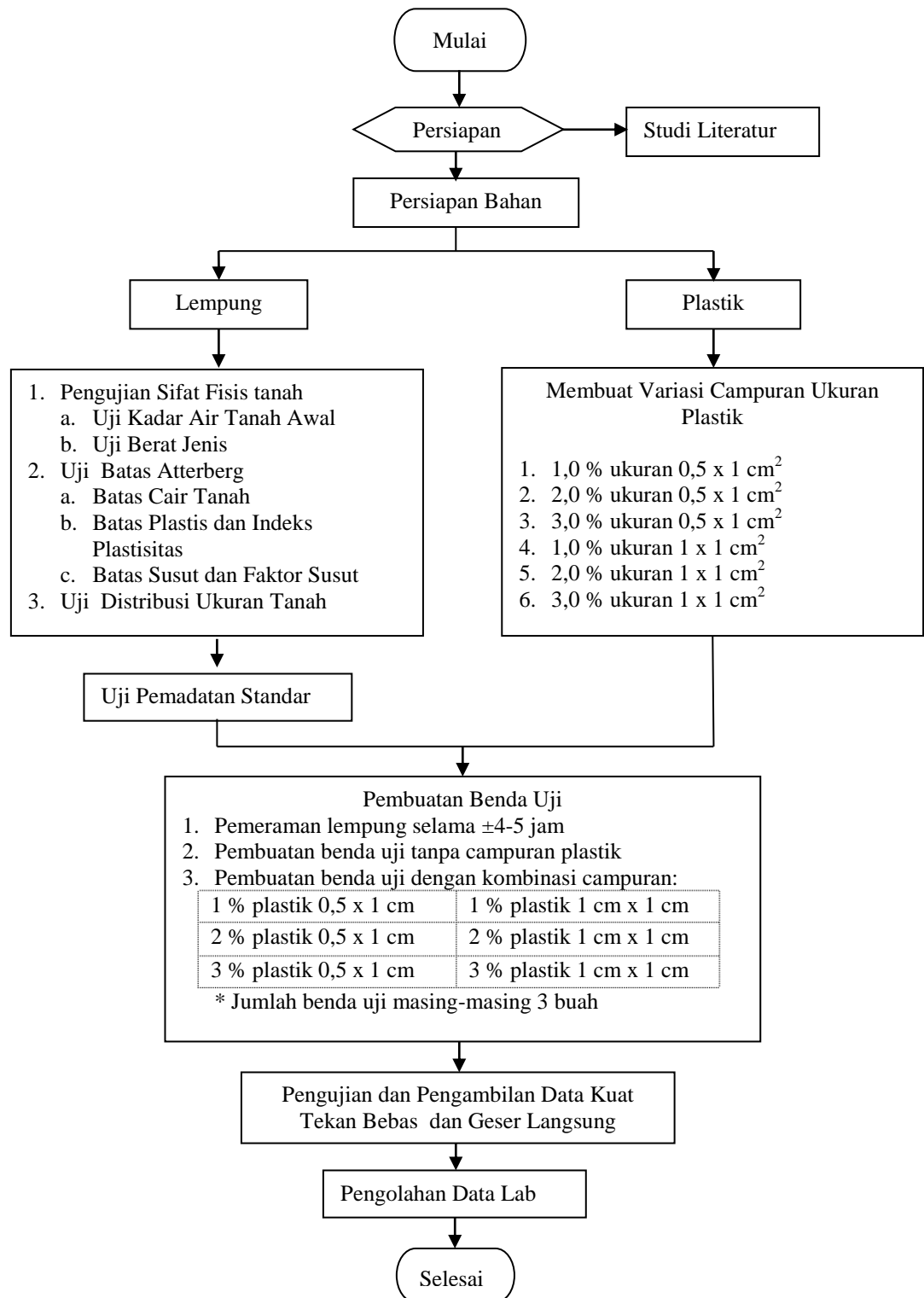
Gambar 11. Bagan Hubungan Variabel Penelitian

D. Desain Eksperimen

Table 9. Hasil pengujian benda uji dengan persentase cacahan botol air mineral plastik ukuran 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm (Rencana)

Lempung dengan persentase variasi campuran 0,5 cm x 1 cm	Tekan Bebas			Geser	
	q_u	ϕ_a^o	C_a	ϕ_b^o	C_b
0%	q_{u0}	ϕ_{a0}^o	C_{a0}	ϕ_{b0}^o	C_{b0}
1%	q_{u1}	ϕ_{a1}^o	C_{a1}	ϕ_{b1}^o	C_{b1}
2%	q_{u2}	ϕ_{a2}^o	C_{a2}	ϕ_{b2}^o	C_{b2}
3%	q_{u3}	ϕ_{a3}^o	C_{a3}	ϕ_{b3}^o	C_{b3}
Lempung dengan persentase variasi campuran 1 cm x 1 cm	Tekan Bebas			Geser	
	q_u	ϕ_a^o	C_a	ϕ_b^o	C_b
0%	q_{u0}	ϕ_{a0}^o	C_{a0}	ϕ_{b0}^o	C_{b0}
1%	q_{u1}	ϕ_{a1}^o	C_{a1}	ϕ_{b1}^o	C_{b1}
2%	q_{u2}	ϕ_{a2}^o	C_{a2}	ϕ_{b2}^o	C_{b2}
3%	q_{u3}	ϕ_{a3}^o	C_{a3}	ϕ_{b3}^o	C_{b3}

E. Flow Chart Penelitian



Gambar 12. Flow Chart Penelitian

F. Alat dan Bahan

1. Alat

a. Ayakan

Ayakan digunakan untuk menyaring atau memisahkan butir-butir tanah sesuai nomer saringan.

b. Penggerus Tanah

Penggerus tanah digunakan untuk menghaluskan butir-butir tanah sebelum disaring.

c. Nampan

Nampan digunakan untuk tempat atau wadah tanah yang akan diuji.

d. Cawan Kadar Air

Cawan kadar air berfungsi untuk menaruh contoh tanah yang akan di uji kadar airnya.

e. Timbangan dengan Ketelitian 0,01 gram

Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram berfungsi untuk menimbang cawan, contoh tanah dengan jumlah sedikit dan potongan gelas plastik.

f. Oven yang Dilengkapi dengan Pengatur Suhu sampai 110°C

Oven digunakan untuk mengeringkan contoh tanah yang akan di uji kadar airnya.

g. *Picnometer*

Picnometer digunakan untuk menguji berat jenis tanah.

h. Alat Vacum

Alat vacum digunakan untuk menghilangkan udara di dalam butir-butir tanah.

i. *Thermometer Celcius*

Thermometer celcius digunakan untuk mengukur suhu tanah atau air pada saat pengujian.

j. Alat Pengujian Batas Cair Tanah

Satu set alat pengujian batas cair tanah digunakan untuk menguji batas cair tanah.

k. Cawan Poselen

Cawan poselen digunakan untuk tempat mencampur contoh tanah dan air.

l. Pelat Kaca

Pelat kaca digunakan sebagai landasan untuk menggiling-nggiling contoh tanah.

m. Cawan Susut

Cawan susut digunakan untuk menguji batas susut tanah.

n. *Hydrometer*

Hydrometer digunakan untuk mengetahui berat jenis suspensi.

o. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu pada saat pengujian.

- p. Gelas Ukur Kapasitas 250 ml

Gelas ukur kapasitas 250 ml digunakan untuk tempat merendam contoh tanah dengan larutan *reagent*.

- q. Gelas Ukur Kapasitas 1000 ml

Gelas ukur kapasitas 1000 ml digunakan untuk mengukur kebutuhan air dan untuk tempat merendam contoh tanah.

- r. *Blender* (Pengaduk Mekanis)

Blender (pengaduk mekanis) digunakan untuk mengaduk contoh tanah dalam pengujian distribusi ukuran butir tanah.

- s. Alat Pemadat Standar

Alat pemadat standar terdiri dari *mould* dan penumbuk, digunakan pada pengujian pemadatan standar tanah untuk mencari kadar air optimum. *Mould* digunakan sebagai tempat tanah yang akan di uji pemadatan, sedangkan penumbuk menumbuk tanah tersebut.

- t. Neraca Ohaus dengan Ukuran Besar

Neraca ohaus dengan ukuran besar digunakan untuk menimbang benda-benda berat seperti alat penumbuk, tabung penumbuk, dan tanah lempung dengan berat yang sudah ditentukan.

- u. Alat Pencampur Tanah

Alat pencampur tanah digunakan untuk mencampur atau meratakan tanah lempung yang sudah diberi air sebelum dipadatkan.

v. Satu Set Alat Pembuat Benda Uji

Satu set alat pembuat benda uji digunakan untuk membuat benda uji pada pengujian tekan bebas.

w. Ekstruder

Ekstruder adalah alat yang digunakan untuk mengeluarkan benda uji yang akan diuji tekan bebas dari *Mould*.

x. Alat Uji Tekan Bebas

Alat Uji Tekan Bebas digunakan untuk menguji kuat tekan bebas tanah.

y. Alat Uji Geser Langsung

Alat Uji Geser Langsung digunakan untuk menguji kuat tekan geser tanah.

2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Tanah Lempung

Penelitian ini menggunakan tanah lempung yang berasal dari desa Punukan, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 13. Tanah Lempung yang telah Lolos Saringan No.4

b. Air Destilasi (H₂O)

Air destilasi digunakan untuk merendam contoh tanah atau membasahi contoh tanah.

c. Bahan Kimia *Reagent*

Pada penelitian ini bahan kimia *reagent* digunakan untuk melarutkan contoh tanah pada pengujian distribusi ukuran butir tanah.

d. Air Raksa

Pada penelitian ini air raksa digunakan sebagai bahan penunjang pada pengujian batas susut tanah.

e. Potongan Botol Air Minum Mineral

Dalam penelitian ini jenis plastik yang digunakan adalah plastik *Polyethylene Terephthalate*.

G. Prosedur Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. Adapun pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Sifat Fisis Tanah

a. Pengujian Kadar Air (ASTM D 2216-71)

1) Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air sampel tanah. Kadar air tanah adalah nilai perbandingan antara

berat isi dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut (ASTM D 2216–71).

2) Alat

- a) Cawan
- b) Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
- c) Oven
- d) Desikator

3) Benda Uji

Benda uji berupa tanah basah, yang terganggu maupun yang tidak terganggu. Agar diperoleh hasil yang lebih teliti, maka berat benda uji dan neraca yang digunakan harus disesuaikan dengan ukuran butir maksimum seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Ketentuan Benda Uji dengan Neraca yang Ditimbang

Ukuran Butir Maksimum	Berat Benda Uji Minimum	Ketelitian Neraca
$\frac{3}{4}$ "	1000 gram	1 gram
#10	100 gram	0,1 gram
#40	10 gram	0,01 gram

4) Prosedur Pengujian

- a) Cawan dibersihkan dengan kain, kemudian ditimbang beserta tutupnya dan beratnya dicatat = W1.
- b) Contoh tanah yang akan diuji dimasukkan kedalam cawan, kemudian ditimbang bersama tutupnya = W2.

- c) Cawan berisi tanah tadi dimasukkan kedalam oven, suhu oven diatur konstan antara 105°C - 110°C selama 16-20 jam.
- d) Setelah dioven tanah didinginkan dalam desikator, kemudian kemudian cawan beserta tutupnya ditimbang = W4.

b. Pengujian Berat Jenis Tanah (ASTM D 854-2)

1) Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis suatu sampel tanah. Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu, biasanya diambil pada suhu 27,5° C.

2) Alat

- a) *Picnometer* dengan kapasitas 25 cc atau 50 cc
- b) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
- c) Air destilasi bebas udara
- d) Oven dengan suhu yang dapat diatur
- e) *Desikator*
- f) *Thermometer*
- g) Cawan porselin (mortar) dengan pestel (penumbuk berkepala karet)
- h) Saringan no. 10

i) Kompor pemanas

3) Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah tanah kering oven lolos saringan no. 10 yang berasal dari tanah *undisturb*.

4) Persedur Pengujian

a) *Picnometer* dibersihkan bagian luar dan dalamnya kemudian ditimbang dengan tutupnya = W1 gram.

b) Sampel tanah yang lolos ayakan no. 10 dimasukkan kedalam *picnometer* sebanyak seperempat dari volume *picnometer*, kemudian pada bagian luarnya dibersihkan lalu ditimbang beserta tutupnya = W2.

c) Air destilasi dimasukkan kedalam *picnometer* sampai $\frac{2}{3}$ dari isinya kemudian di diamkan kira-kira sampai 10 menit.

d) Udara yang terperangkap diantara butir tanah dikeluarkan, hal ini dapat dilakukan dengan cara:

(1) *Picnometer* dimasukkan kedalam pompa vakum dalam keadaan terbuka kemudian diberikan tekanan tidak melebihi 100 cmHg, sehingga gelembung udara dapat keluar dari pori-pori tanah dan air menjadi jernih.

(2) *Picnometer* direbus dengan hati-hati selama 10 menit dengan sesekali *picnometer* digoyang-goyangkan untuk membantu keluarnya gelembung udara, kemudian

dimasukkan dalam desikator sampai mencapai suhu ruangan selama lebih kurang 2 jam.

- e) Air destilasi ditambahkan kedalam *picnometer* sampai penuh dan ditutup, bagian luar *picnometer* dikeringkan dengan kain kering, setelah itu *picnometer* berisi tanah dan air penuh ditimbang = W3.
- f) Suhu air dalam *picnometer* diukur dengan *thermometer* dan dicatat = T.
- g) Seluruh isi *picnometer* dibuang kemudian diisi dengan air destilasi bebas udara sampai penuh, ditutup dan bagian luarnya di keringkan dengan kain dan ditimbang = W4 gram. Hal ini dikerjakan segera setelah pekerjaan poin f, agar suhu air masih sama dengan poin f.

2. Pengujian Batas-batas Atterberg

a. Pengujian Batas Cair (ASTM D 423-66)

1) Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis, batas cair untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no. 40.

2) Alat

- a) *Cassagrande*
- b) *Grooving tool*
- c) Cawan porselin (mortar)
- d) *Spatel* (penumbuk berkepala karet/kayu)
- e) Saringan no. 40
- f) Air destilasi
- g) Satu set alat pengujian kadar air

3) Benda Uji

Sampel tanah yang perlu disiapkan untuk pengujian ini sebanyak ± 500 gram. Sampel tanah ini harus bebas atau tidak mengandung butir tanah yang lebih besar dari 0,425 mm (tertahan saringan no.40). Bila contoh tanah mengandung butir kasar, maka tanah dikeringkan dan dijemur, bila keadaan tanah tidak menggumpal maka langsung dapat disaring, tetapi bila contoh tanah tersebut dalam keadaan menggumpal, maka perlu ditumbuk dengan palu karet, kemudian disaring dengan saringan no.40.

4) Pelaksanaan

a) Persiapan Pengujian

- (1) Sampel tanah yang sudah disaring dengan saringan no. 40 dimasukkan dalam cawan porselen.

- (2) Air ditambah dalam cawan sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai merata, dari kering atau keenceran.
- (3) Alat *Cassagrande* yang akan dipergunakan diperiksa dahulu, bahwa alat didalam keadaan baik dan dapat bekerja dengan baik. Periksa bahwa apabila pegangan diputar, mangkuk akan terangkat setinggi 1 cm. Gunakan pegangan alat pembarut sebagai pengukur. Bila belum benar, perbaiki setelahnya.

b) Pelaksanaan Pengujian

- (1) Contoh tanah didalam cawan porselen tersebut ditambahkan air sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai merata (*homogen*). Pada adukan pertama ini tanah supaya agak encer.
- (2) Adukan tanah tadi dimasukkan kedalam mangkuk *Cassagrande*, gunakan spatel untuk meratakan dan menghilangkan gelembung udara yang tertangkap didalam tanah. Permukaan tanah diratakan dengan permukaan mangkuk *Cassagrande* bagian depan dan paling bawah dan permukaan tanah harus horisontal, apabila tanahnya kelebihan dapat diambil dan ditambahkan bila kurang.

- (3) Dengan alat pembarut, dibuat alur lurus pada garis tengah mangkuk searah dengan sumbu alat, sehingga tanah terbelah dua secara simetris.
- (4) Alat digerakan, sehingga mangkuk terangkat dan jatuh pada alasnya, dengan kecepatan dua putaran/detik, putaran dihentikan apabila kedua bagian tanah sudah terlihat terhimpit sepanjang 12,7 mm ($1/2''$). Catat jumlah ketukannya (*interval* ketukan antara 10 sampai 45 ketukan).
- (5) Jumlah ketukan pada pengujian pertama kali kurang dari 40 ketukan.
- (6) Sampel tanah dalam mangkuk *Cassagrande* diambil sedikit kemudian uji kadar airnya.
- (7) Sisa tanah yang ada dalam mangkuk diambil dan dikembalikan kedalam cawan porselen. Mangkuk *Cassagrande* dicuci dan dikeringkan terlebih dahulu sebelum digunakan untuk pengujian selanjutnya.
- (8) Semua pekerjaan diatas diulangi, sehingga diperoleh 4 sampai 5 data hubungan antara kadar air dan jumlah ketukan. Ketukan yang dipakai adalah antara 15 sampai 40, dengan masing-masing pengujian selisih hampir sama.

(9) Untuk mendapatkan jumlah ketukan dan kadar air yang berbeda, sampel tanah ditambah dengan air sedikit demi sedikit

b. Pengujian Batas Plastis dan Indeks Plastisitas (ASTM D 424-74)

1) Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis.

2) Alat

- a) Plat kaca
- b) *Spatula*
- c) *Wash bottle*
- d) Cawan porselen
- e) Seperangkat alat pengujian kadar air

3) Benda Uji

Sampel tanah sebanyak 15 sampai 20 gram, diambil setelah pengujian batas cair.

4) Prosedur Pengujian

- a) Bola tanah dibuat dengan diameter sekitar 1 cm.
- b) Tanah digiling-giling diatas pelat kaca dengan telapak tangan berkecepatan giling 1,5 detik setiap gerakan maju mundur.

- c) Setelah tercapai 3 mm dan tanah mulai retak, sampel tanah tersebut menunjukkan dalam keadaan kondisi batas plastis.
 - d) Gilingan tanah tersebut dimasukkan kedalam cawan sebanyak kurang lebih 10 gram, kemudian segera dilakukan pengujian kadar air.
- c. Pengujian Batas Susut Tanah (ASTM D 427-74)

1) Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut. Batas susut tanah adalah kadar air tanah minimum yang masih dalam keadaan *semi solid*, dan juga merupakan batas antara keadaan *semi solid* dan *solid*.

2) Alat

- a) Cawan porselen dan spatel
- b) Cawan susut yang berbentuk bulat dan beralas datar
- c) Pisau perata
- d) Satu unit alat untuk menentukan volume
- e) Satu set alat pengujian kadar air

3) Benda Uji

Benda uji dapat berupa sebagian dari tanah saat pengujian batas cair tanah, kemudian ditambah air sehingga tanah berada dalam kondisi *liquid* atau cair.

4) Pelaksanaan

a) Volume ring (V) dihitung dengan mengukur tinggi (t), diameter (D), atau dengan cara berikut:

(1) Cawan susut dibersihkan kemudian berat ring ditimbang (W1) gram.

(2) Air raksa dituangkan kedalam cawan susut.

(3) Permukaanya diratakan dengan pelat kaca, kemudian ditimbang (W2) gram.

(4) Air raksa dimasukkan kedalam tempatnya lagi dan lakukan pengujian berikutnya.

b) Tanah diisikan kedalam cawan susut

(1) Cawan susut diolesi oli sampai merata, kemudian adukan tanah yang sudah dipersiapkan tadi dimasukkan kedalam cawan susut sedikit-sedikit sambil diketok-ketokan dilantai, agar tidak udara yang terperangkap didalam cawan susut, sehingga seluruh volume cawan terisi oleh tanah.

(2) Sisi luar cawan yang terkena tanah dibersihkan, kemudian ditimbang beratnya = W2 gram.

(3) Tanah tersebut dikeringkan dengan oven yang dihidupkan 60°C , sampai beberapa jam kemudian suhu dinaikkan lagi sampai 100°C . Hal ini dilakukan dengan tujuan supaya tanah tidak pecah.

(4) Cawan dan tanah kering di dingikan, setelah dingin lalu ditimbang = W_3 gram.

c) Volume tanah kering ditentukan dengan cara:

(1) Tanah kering dikeluarkan dari cawan susut, jangan pecah.

(2) Mangkuk kaca ditempatkan dalam mangkuk porselin yang lebih besar.

(3) Air raksa dituangkan kedalam mangkuk kaca sampai penuh, kemudian permukaan air raksa diratakan dengan pelat kaca berpaku, dengan posisi paku dicelupkan kedalam air raksa.

(4) Mangkuk kaca tadi dipindahkan kedalam mangkuk porselin kosong satunya lagi, kemudian contoh tanah kering dimasukkan kedalam mangkuk kaca, lalu tekan dengan pelat kaca berpaku sampai tenggelam.

(5) Pelat kaca diangkat dan mangkuk kaca dipindahkan ke mangkuk porselin pertama.

(6) Air raksa yang berada dalam mangkuk porselin kedua dituangkan kedalam gelas ukur lalu ditimbang.

(7) Volume tanah kering sama dengan berat jenis air raksa yang tertumpah karena terdesak tanah dibagi dengan berat jenisnya.

3. Pengujian Distribusi Ukuran Butiran Tanah

a. Tujuan Hidrometer (ASTM D 1140-00)

1) Tujuan Pengujian

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan pembagian ukuran butir (gradasi) dari tanah yang lewat saringan no. 10.

2) Alat

(1) Hidrometer dengan skala konsentrasi (5-60 gram per liter) atau untuk pembacaan berat jenis campuran (0,995-1,038) gr/cm³.

(2) Tabung gelas ukur kapasitas 1000 ml, dengan diameter $\pm 6,5$ cm.

(3) Termometer 0-50°C ketelitian 0,1°C.

(4) Pengaduk mekanis dan mangkuk dispersi (*mechanical stirrer*).

(5) Saringan no. 10; 20; 40; 60; 80; 100; 140; dan 200.

(6) Neraca dengan ketelitian 0,01 gram.

(7) Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 \pm 5°C).

(8) Cawan porselen (mortar) dan pastel (penggerus) berkepala karet atau dibungkus karet

(9) *Stopwatch*.

3) Benda Uji

- a) Jenis tanah yang tidak mengandung batu dan hampir semua butirannya lebih halus dari saringan 2,00 mm (no.10). Benda uji tidak perlu dikeringkan dan tidak perlu disaring dengan saringan no. 10
- b) Jenis tanah yang mengandung batu, atau mengandung banyak butiran yang lebih kasar dari saringan no. 10. Untuk benda uji jenis ini perlu mengeringkan contoh tanah di udara terbuka sampai bisa disaring dengan saringan no. 10. Ambil benda uji yang lewat saringan no. 10
- c) Air destilasi
- d) Bahan dispersi (*reagent*), dapat berupa *water glass* (*sodium silikat* = Na_2SiO_3) atau Calgon (*sodium hexameta phosphate* = NaPO_3)

4) Pelaksanaan

- a) Contoh tanah ditaruh dalam tabung gelas (*beaker* kapasitas 250 cc). sebanyak ± 125 cc larutan + *reagent* yang telah disiapkan (lihat catatan no.1) dituangkan dalam tabung gelas tersebut, kemudian dicampur dan diaduk sampai seluruh tanah tercampur dengan air. Tanah yang terendam dibiarkan selama ± 16 jam.
- b) Campuran tersebut dituangkan dalam mangkuk pengaduk. Jangan ada butir yang tertinggal atau hilang dengan dibilas

menggunakan air (air destilasi) dan tuangkan air bilasan ke alat. Bila perlu ditambah air, sehingga volumenya sekitar lebih dari separuh penuh. Alat pengaduk diputar selama lebih dari 1 menit.

- c) Kemudian suspensi segera dipindahkan ke gelas silinder pengendap. Jangan ada tanah tertinggal dengan dibilas dan dituangkan air bilasan ke silinder. Ditambahkan air destilasi sehingga volumenya mencapai 1000 cm³.
- d) Gelas silinder kedua yang diisi hanya dengan air destilasi ditambah *reagent* sehingga berupa larutan yang keduanya sama seperti yang dipakai pada silinder pertama disiapkan di samping silinder isi suspensi tersebut. Apungkan hidrometer dalam silinder kedua ini selama percobaan dilaksanakan.
- e) Gelas isi suspensi ditutup dengan tutup karet (atau dengan telapak tangan). Suspensi digocek dengan membolak-balik gelas ke atas dan ke bawah selama 1 menit, sehingga butir-butir tanah melayang merata dalam air. Gerakan membolak-balik gelas ini harus sekitar 60 kali. Kemudian langsung diletakkan dalam silinder berdiri di atas meja dan bersamaan dengan berdirinya silinder, jalankan *stopwatch* dan merupakan waktu permulaan pengendapan $T=0$.

f) Cara pembacaan hidrometer

(1) Pembacaan hidrometer dilakukan pada saat-saat $T = 2,5, 30, 60, 250, 1440$ menit (setelah $T = 0$), dengan cara sebagai berikut : Kira-kira 20 atau 25 detik sebelum setiap saat pelaksanaan pembacaan, ambil hidrometer dari silinder kedua, celupkan secara hati-hati dan pelan-pelan dalam suspensi sampai mencapai kedalaman sekitar taksiran skala yang akan terbaca, kemudian lepaskan (jangan sampai timbul guncangan). Kemudian pada saatnya bacalah skala yang ditunjuk oleh puncak meniskus muka air = R_1 (pembacaan belum dikoreksi).

(2) Setelah dibaca, segera ambil hidrometer pelan-pelan dan dipindahkan ke dalam silinder kedua. Dalam air di silinder kedua dibaca skala hidrometer = R_2 (koreksi pembacaan).

Catatan : Apabila digunakan “*water bath*” dengan suhu konstan ditaruh kedua silinder dalam *water bath* dan dilakukan sesudah pembacaan 2 menit dan sebelum pembacaan 5 menit.

g) Setiap setelah hidrometer dibaca, termometer dicelupkan dalam suspensi amati dan catat temperaturnya.

- h) Setelah pembacaan hidrometer terakhir selesai dilaksanakan ($T = 1440$ menit), suspensi dituangkan ke atas saringan no. 200 seluruhnya, jangan ada butir tertinggal. Kemudian dicuci dengan air sampai air yang mengalir dibawah saringan menjadi jernih dan tidak ada lagi butir halus yang tertinggal.
- i) Butir-butir tanah yang tertinggal dipindahkan di atas saringan pada suatu tempat tanpa ada yang tertinggal, kemudian dikeringkan dalam oven (dengan temperatur konstan $105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$).
- j) Kemudian didinginkan dan ditimbang serta catat berat tanah kering yang diperoleh = B1 gram.
- k) Tanah ini disaring dengan menggunakan sejumlah saringan yaitu no. 10; 20; 40; 60; 80; 100; 140; dan 200.
- l) Kemudian ditimbang dan dicatat berat bagian tanah yang tertinggal di atas tiap saringan. Lalu diperiksa bahwa seharusnya jumlah berat dari masing-masing bagian sama atau dekat dengan berat sebelum disaring.

b. Analisa Saringan (ASTM 422 – 72)

1) Tujuan

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir tanah yang mengandung butir-butir yang tertahan saringan no. 10.

2) Alat

- a) Saringan kasar untuk butir-butir kerikil, yang terdiri atas saringan dengan ukuran dari atas kebawah mulai dari 3,5 inch; 3 inch; 2,5 inch; 2 inch; 1,5 inch; 1 inch; $\frac{3}{4}$ inch; $\frac{1}{2}$ inch; dan $\frac{3}{8}$ inch.
- b) Saringan halus untuk butir-butir halus, yang terdiri atas saringan dengan ukuran dari atas ke bawah mulai dari saringan no.4 (4,75 mm), no.10 (2 mm), no.20 (0,850 mm), no.40 (0,425 mm), no.80 (0,180 mm), no.120 (0,125 mm), dan no.200 (0,075 mm).

3) Persiapan Benda Uji

- a) Contoh tanah yang akan diperiksa dibiarkan dalam ruangan, sehingga tanah menjadi kering udara. (Bila diperlukan dapat menggunakan alat pengering dengan suhu tidak lebih dari 60°C). Gumpalan-gumpalan yang ada diremuk dengan dipukul-pukul menggunakan palu karet/kayu dan atau digerus dalam mortar dengan pestel berkepala (dibungkus) karet, sehingga butir-butir terpisah dan butir-butirnya tidak rusak. Bila contoh tanah yang tersedia melebihi dari yang diperlukan, atau akan dibagi atas beberapa bagian, bagilah dengan menggunakan “*sampler splitter*” atau dengan cara perempat (*quartering*) agar masing-masing bagian mewakili keadaan aslinya.

- b) Kemudian dipisahkan dan taruh dalam suatu tempat sejumlah tanah yang akan diperiksa. Kemudian timbang dan catat beratnya W_0 .
- c) Tanah yang akan diperiksa disaring dengan saringan no. 10. Bila perlu gumpalangumpalan yang tertahan saringan dapat digerus lagi dan disaring lagi, jangan ada bagian yang tercecer. Pisahkan bagian yang tertahan saringan no. 10 dan bagian yang lewat saringan no. 10.
- d) Dari bagian yang lewat saringan no. 10
 - (1) Diambil kira-kira 10-15 gram dan lakukan pemeriksaan kadar air tanah (air higroskopis), = w .
 - (2) Diambil juga sebagian untuk pembuatan berat jenis tanah = G , apabila data berat jenis tanah belum ada.
 - (3) Kemudian disediakan sejumlah contoh bagian yang lewat saringan no. 10 ini untuk analisa ukuran butir dengan hidrometer dan saringan halus. Lalu ditimbanglah contoh tanah yang akan diperiksa (W_1 , gram), yang banyaknya sekitar 100 gram untuk tanah berpasir dan 50 gram untuk tanah lanau atau lempung tidak berpasir.

Apabila jumlah bagian lewat saringan no. 10 terlalu banyak dari yang diperlukan, dan diambil seperlunya (W_1') dengan menggunakan “*sampler spiltter*” atau cara perempat.

- e) Dari bagian yang tertahan saringan no. 10. Berat contoh tanah kering udara tertahan saringan no. 10 yang tersedia harus cukup banyaknya dan beratnya disesuaikan dengan ukuran butir terbesar yang ada dalam tanah sebagai berikut:

Ukuran terbesar	\pm berat contoh (minimum)
3/8" (9,5 mm)	500 gram
3/4" (19,0 mm)	1000 gram
1" (25,4 mm)	2000 gram
1 1/2" (38,1 mm)	3000 gram
2" (50,8 mm)	4000 gram
3" (76,2 mm)	5000 gram

- (1) Bagian ini dicuci (seluruhnya, jangan ada yang tercecer) di atas saringan no. 10 dengan air, sampai air yang keluar dari saringan menjadi jernih, sehingga yang tinggal di atas saringan bebas dari butir halus yang ada.

- (2) Contoh tanah yang sudah dicuci dikeringkan dalam oven.

- (3) Berat contoh tanah tersebut = W2 ditimbang dan dicatat.

4) Pelaksanaan

- a) Benda uji bagian lewat saringan no 10. (sebesar W1' gram).
Penentuan distribusi ukuran butir meliputi pemeriksaan

hidrometer dan pekerjaan saringan bagian yang tertahan saringan no. 200.

b) Benda uji bagian yang tertahan saringan no. 10 (sebanyak W2 gram).

(1) Bagian ini disaring dengan susunan saringan kasar yang terdiri atas 7 saringan + tutup seperti tersebut pada bab II no. 1.

(2) Ditimbang dan dicatat berat masing-masing bagian yang tertahan tiap-tiap saringan dan diatas tutup bawah. Periksalah bahwa seharusnya jumlah berat dari masing-masing bagian tersebut sama atau dekat dengan sebelum disaring

4. Pemadatan Tanah Standar (ASTM D 698-70)

a. Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan tanah didalam silinder berukuran tertentu menggunakan alat penumbuk tertentu pula. Pengujian pemadatan dilakukan dengan menggunakan cetakan diameter 102 mm (4 inci), bahan tanah lolos saringan no.40. Kegunaan pengujian ini untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*) dan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) dari suatu sampel tanah.

b. Alat

- 1) *Mould* silinder 102 mm (4 inc) kapasitas $0,000943 \pm 0,000008$ m³ ($0,0333 \pm 0,003$ cu ft) dengan diameter dalam $102,6 \pm 0,406$ mm ($4,00 \text{ inc} \pm 0,016 \text{ inc}$), tinggi $116,43 \pm 0,127$ mm ($4,584 \text{ inc} \pm 0,005 \text{ inc}$).
- 2) Alat penumbuk tangan dari logam dengan permukaan rata diameter $50,8 \text{ mm} \pm 0,127 \text{ mm}$ ($2,00 \text{ inc} \pm 0,005 \text{ inc}$) berat $2,495 \pm 0,009 \text{ kg}$ ($5,5 \pm 0,02 \text{ lb}$) dilengkapi dengan selubung yang dapat mengatur tinggi jatuh secara bebas setinggi $304,8 \text{ mm} \pm 1,524 \text{ mm}$ ($12,00 \text{ inc} \pm 0,06 \text{ inc}$). Dapat juga dipakai alat tumbuk mekanis dari logam yang dilengkapi alat kontrol dengan tinggi jatuh bebas $304,8 \text{ mm} \pm 1,524 \text{ mm}$ ($12,00 \text{ inc} \pm 0,06 \text{ inc}$) dan dapat membagi tumbukan merata diatas permukaan. Alat penumbuk mempunyai permukaan tumbuk yang rata berdiameter $50,8 \pm 0,127 \text{ mm}$ ($2,00 \text{ inc} \pm 0,05 \text{ inc}$) dengan berat $2,495 \text{ kg} \pm 0,009 \text{ kg}$ ($5,5 \pm 0,02 \text{ lb}$)
- 3) Alat pengeluar sampel tanah (*ekstruder*)
- 4) Timbangan
- 5) Alat perata besi panjang 25 cm salah satu sisi memanjang tajam sebelahny datar
- 6) Saringan no.4
- 7) Talam, penumbuk dari kayu, pengaduk, sendok
- 8) Satu unit alat pengujian kadar air

c. Benda Uji

- 1) Bila contoh tanah dari lapangan dalam keadaan lembab dikeringkan dulu sehingga menjadi gembur. Pengeringan dilakukan di udara atau dengan alat pengering lain dengan suhu 60°C , kemudian gumpalan tanah ditumbuk tetapi butir asli tidak pecah.
- 2) Tanah yang sudah ditumbuk disaring dengan saringan no.4.
- 3) Jumlah sampel untuk pengujian sebanyak 15 kg.
- 4) Benda uji dibagi menjadi 6 bagian, tiap bagian dicampur air yang ditentukan dan diaduk sampai merata. Penambahan air diatur sehingga diperoleh benda uji sebagai berikut:
 - a) Tiga buah sampel dengan kadar air kira-kira dibawah optimum dan tiga sampel yang lain kira-kira diatas optimum.
 - b) Perbedaan kadar air masing-masing antara 3% sampai 5%.
 - c) Masing-masing benda uji dimasukkan ke dalam kantong plastik, disimpan selama 12 jam sampai kadar air merata.
- 5) Prosedur Pengujian
 - 1) Persiapan Pengujian
 - a) *Mould* diameter 102 mm (4 inc) dan keping alas ditimbang dengan ketelitian 5 gram (W_1 gram).
 - b) Leher *mould* dan keping alas dipasang jadi satu dan ditempatkan pada landasan yang kokoh.

2) Pelaksanaan Pengujian

- a) Salah satu dari keenam sampel yang sudah disiapkan diambil, diaduk dan dipadatkan dalam *mould* dengan cara sebagai berikut:
 - (1) Jumlah seluruh cetakan tanah harus tepat sehingga tinggi kelebihan tanah yang diratakan setelah leher dilepas tidak lebih dari 5 mm.
 - (2) Pemadatan dilakukan dengan alat tumbuk standar dengan berat 2,495 kg (5,5 lb) dengan tinggi jatuh 30,5 cm (12 cm).
 - (3) Tanah dipadatkan dalam 3 lapis, tiap lapis ditumbuk dengan 25 kali tumbuk.
- b) Leher sambung dilepas, potong kelebihan tanah dari bagian keliling dengan pisau perata. *Mould* yang berisi benda uji beserta keping alas ditimbang dengan ketelitian 5 gram (W_2).
- c) Benda uji dikeluarkan dengan alat *ekstruder* dan ambil sebagian kecil dari benda uji untuk pengujian kadar air kemudian tentukan nilai kadar airnya.
- d) Pengujian yang dilakukan sama untuk sampel tanah lain.

5. Pembuatan Benda Uji

Dalam proses pembuatan benda uji terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan:

a. Alat

- 1) Tabung silinder (*mould* modifikasi),
- 2) Penumbuk
- 3) Pelat alas
- 4) Alat pengeluar benda uji (*ekstruder*)
- 5) Pisau perata
- 6) Oli

b. Pelaksanaan

- 1) Alat dan bahan yang akan digunakan disiapkan untuk membuat benda uji seperti tanah lempung, potongan gelas plastik, silinder pemadat, penumbuk, dan alat bantu lainnya.
- 2) Contoh tanah yang akan dibuat benda uji ditimbang per satu kilo gram dan di masukan kedalam kantong plastik.
- 3) Air diukur sesuai kebutuhan kadar air yang sudah ditentukan dengan menggunakan gelas ukur 1000 cc.
- 4) Tanah lempung dicampur dengan air yang sudah diukur kebutuhannya dengan gelas ukur tadi, diaduk sampai rata atau *homogen*.

- 5) Tanah yang sudah dicampur dengan air dimasukkan kedalam kantong plastik, kemudian disimpan atau didiamkan selama $\pm 4 - 5$ jam.
- 6) Potongan gelas plastik ditimbang sesuai kebutuhan yang sudah ditentukan, campurkan dengan tanah lempung dan aduk lah sampai merata atau homogen.
- 7) Tanah lempung yang sudah dicampur plastik tadi dimasukkan kedalam silinder pemadat sebanyak $1/3$ silinder dan ditumbuk sebanyak yang sudah ditentukan sebelumnya, $1/3$ tanah lagi dimasukkan dan kemudian ditumbuk lagi, dan $1/3$ tanah lagi dimasukkan kemudian ditumbuk lagi.
- 8) Kepala silinder dilepas dan permukaan tanah diratakan menggunakan pisau perata.
- 9) Benda uji ditimbang beserta silinder pemadatnya.
- 10) Benda uji dikeluarkan dari silinder menggunakan alat *ekstruder*.
- 11) Benda uji yang sudah dikeluarkan di uji tekan bebas menggunakan alat uji tekan bebas, kemudian catat kekuatannya.

6. Pengujian Tekan Bebas (ASTM D 2166-85)

a. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan besar sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c), dan kuat tekan bebas tanah. Kuat tekan bebas tanah adalah besarnya tekanan axial (kg/cm^2) yang

diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan pemendekan 20%, apabila tanah sampai pemendekan 20% tersebut tanah tidak pecah, maka dianggap runtuh.

b. Alat

1) Alat Uji Tekan Bebas

Alat uji kuat tekan bebas dapat berupa sebuah alat seperti pelat dengan skala beban (*a platform weighing scale*) yang dilengkapi dengan sistem pembebanan menggunakan dongkrak putar (*a screw-jack-activated load yoke*), alat dongkrak hidrolis, atau sistem pembebanan lainnya dengan kapasitas yang sesuai dengan peruntukannya, antara lain untuk mengatur kecepatan pembebanan. Untuk tanah dengan kuat tekan bebas kurang dari 100 kN/m² (100 kPa), alat uji kuat tekan bebas harus mampu mengukur tekanan untuk setiap peningkatan 1 kN/m² (1 kPa). Untuk tanah dengan kuat tekan bebas 100 kN/m² (100 kPa) atau lebih, alat uji kuat tekan bebas harus mampu mengukur tekanan untuk setiap peningkatan 5 kN/m² (5 kPa).

2) Alat untuk Mengeluarkan Contoh Tanah

Alat untuk mengeluarkan contoh tanah (*extruder*) harus mempunyai kemampuan untuk mengeluarkan contoh tanah dari dalam tabung tanpa menimbulkan gangguan yang berarti,

misalnya kecepatannya tetap dan arahnya disesuaikan dengan arah masuknya contoh tanah ke dalam tabung pada saat pengambilannya di lapangan.

3) Alat Penunjuk Deformasi

Alat penunjuk deformasi harus berupa arloji ukur dengan skala pembacaan 0,03 mm (0,001 inc) atau lebih kecil, dan mempunyai kapasitas pengukuran setidaknya 20 % dari tinggi benda uji, atau alat ukur lainnya yang memenuhi persyaratan, seperti alat ukur elektrik.

4) Alat Pengukur Dimensi

Alat pengukur dimensi berupa jangka sorong (*sigmat*), lihat Catatan, atau alat lain yang sesuai, untuk mengukur dimensi fisik benda uji dengan ketelitian pembacaan 0,1 %.

Catatan: jangka sorong (*sigmat*) tidak direkomendasikan untuk mengukur dimensi benda uji dari tanah lunak karena dapat menimbulkan kerusakan pada benda uji.

5) Alat Pengukur Waktu

Alat pengukur waktu lamanya pengujian berskala detik harus digunakan untuk menyesuaikan kecepatan regangan yang ditetapkan.

6) Timbangan

Timbangan yang digunakan untuk menimbang benda uji harus dapat menentukan massa benda uji dengan ketelitian pembacaan 0,1 % dari massa totalnya.

7) Peralatan Uji Kadar Air

Untuk peralatan uji kadar air sesuai dengan ASTM D 2216-83.

8) Peralatan Bantu

Mencakup alat pemotong dan perapihan, peralatan cetak benda uji, dan lembaran data (formulir), dan lain-lain yang diperlukan.

c. Benda Uji

1) Ukuran Benda Uji

Benda uji harus mempunyai diameter minimum 30 mm dan partikel (butiran) yang paling besar yang terkandung dalam benda uji harus lebih kecil dari 1/10 kali diameter benda uji. Untuk benda uji dengan diameter 72 mm atau lebih, ukuran partikel paling besar harus lebih kecil dari 1/6 kali diameter benda uji. Jika setelah selesai pengujian benda uji tidak terganggu, secara visual terlihat adanya partikel yang lebih besar dari yang diizinkan, harus dinyatakan di dalam laporan. Rasio tinggi benda uji terhadap diameter harus sama dengan 2 s.d 2,5. Tinggi dan diameter rata-rata benda uji harus ditentukan dengan

menggunakan peralatan sesuai dengan (butir b). Pengukuran tinggi benda uji minimum 3 kali, dengan sudut pengukuran setiap 120°, dan pengukuran diameter minimum 3 kali dengan posisi pengukuran pada setiap 1/4 kali tinggi benda uji.

2) Benda Uji Dipadatkan

Benda uji harus dipersiapkan sesuai dengan kadar air dan densitas yang ditentukan. Setelah benda uji dicetak, rapihkan penampang ujungnya, keluarkan dari dalam cetakan, dan tentukan massa dan dimensi benda uji. Berdasarkan pengalaman menunjukkan bahwa sulit untuk memadatkan, menangani dan mendapatkan hasil yang tepat untuk benda uji yang mempunyai derajat kejenuhan lebih dari 90%.

d. Pelaksanaan

- 1) Benda uji dipasang pada alat pembebanan sedemikian sehingga tepat pada pusat pelat dasar. Alat pembebanan digerakkan dengan hati-hati sedemikian sehingga pelat atas menyentuh benda uji. Arloji ukur deformasi dinolkan, kemudian dilakukan pembebanan sehingga menghasilkan regangan aksial dengan kecepatan 1/2% s.d 2% per menit. Beban, deformasi, dan waktu dicatat pada interval yang sesuai untuk mendapatkan bentuk kurva tegangan-regangan (umumnya cukup 10 sampai 15 titik). Kecepatan regangan sebaiknya dipilih sedemikian sehingga waktu yang dibutuhkan sampai benda uji runtuh tidak melebihi

sekitar 15 menit. Pembebanan terus dilakukan sampai nilai beban berkurang sesuai meningkatnya regangan, atau sampai tercapai regangan aksial 15 %. Kecepatan regangan yang digunakan untuk pengujian terhadap benda uji yang dibungkus dapat dikurangi (minimum 1/2 %) jika dianggap perlu sekali untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih baik. Kecepatan regangan harus dicantumkan dalam laporan data hasil pengujian. Kadar air benda uji ditentukan dengan menggunakan seluruh contoh, kecuali hasil perapihan/pemotongan telah diperiksa kadar airnya. Dalam laporan harus dicantumkan apakah contoh kadar air diperoleh sebelum atau setelah pengujian.

- 2) Sketsa atau foto benda uji dibuat pada saat runtuh yang memperlihatkan dan dicantumkan sudut kemiringan jika dapat diukur.

7. Pengujian Geser Langsung (ASTM D 3080-72)

a. Tujuan Penelitian

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan nilai kohesi (c) dan sudut geser tanah (ϕ).

b. Alat

- 1) Alat geser langsung terdiri dari:

- a) Setang penekan dan pemberi lahan

- b) Alat penggeser lengkap dengan cincin penguji (*prving ring*) dan 2 buah arloji geser (*extensiometer*)
 - c) Cincin pemeriksaan yang terbagi dua dengan penguncinya terletak dalam kotak, dimensi cincin: Ø6,2 cm, t = 2 cm
 - d) Beban-beban
 - e) Dua buah batu pori
- 2) Alat pengeluar benda uji dan pisau pemotong
 - 3) Cincin cetak benda uji
 - 4) Neraca dengan ketelitian 0,01 gram
 - 5) *Stopwacth*
 - 6) Oven, yang dilengkapi dengan penbgatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
- c. Benda Uji
- 1) Benda uji tanah asli dari tabung contoh.

Contoh tanah asli dari dalam tabung ujungnya diratakan dan cincin cetak benda uji ditekan pada ujung tanah tersebut, tanah dikeluarkan secukupnya untuk tiga benda uji. Pakailah bagian yang rata sebagai alas dan ratakan bagian atasnya.
 - 2) Benda uji tanah asli lainnya.

Contoh yang digunakan harus cukup besar untuk membuat tiga buah benda uji. Persiapkan benda uji sehingga tidak terjadi kehilangan kadar air. Bentuk benda uji dengan cincin cetak dalam mempersiapkan benda uji terutama untuk tanah yang

peka harus berhati-hati guna menghindarkan terganggunya struktur asli tanah tersebut.

3) Benda uji buatan (dipadatkan).

Contoh tanah harus dipadatkan pada kadar air dan berat isi yang dikehendaki. Pemadatan dapat langsung dilakukan pada cincin pemeriksaan atau pada tabung pemadatan.

Tebal minimum benda uji kira-kira 1,3 cm tapi tidak kurang dari 6 kali diameter butir maksimum.

4) Perbandingan diameter terhadap tebal benda uji harus minimal 2:1. Untuk benda uji yang berbentuk empat persegi panjang atau bujur sangkar perbandingan lebar dan tebal minimal 2:1.

Catatan: untuk tanah lembek pembebanan harus diusahakan agar tidak merusak benda uji.

d. Pelaksanaan

1) Timbang benda uji

2) Masukkan benda uji kedalam cincin pemeriksaan yang telah terkunci menjadi satu dan pasanglah batu pori pada bagian atas dan bawah benda uji.

3) Setang penekan dipasang vertikal untuk memberi beban normal pada benda uji dan diatur sehingga beban yang diterima oleh benda uji sama dengan beban yang diberikan pada setang tersebut.

- 4) Penggeseran benda uji dipasang pada arah mendatar pada bagian atas cincin pemeriksaan. Atur pembacaan arloji geser sehingga menunjukkan angka nol. Kemudian buka kunci cincin pemeriksaan.
- 5) Berikan beban normal pertama sesuai dengan bendan yang diperlukan. Segera setelah pembebanan pertama diberikan, isilah kotak cincin pemeriksaan dengan air sampai penuh diatas permukaan benda uji, jagalah permukaan ini supaya tetap selama pemeriksaan.
- 6) Diamkan benda uji sehingga konsolidasi selesai. Catat proses konsolidasi tersebut pada waktu-waktu tertentu sesuai cara pemeriksaan konsolidasi PB-0115-76.
- 7) Setelah konsolidasi selesai hitung t_{50} untuk menentukan kecepatan penggeseran. Konsolidasi dibuat dalam tiga beban yang di perlukan. Kecepatan penggerseran dapat ditentukan dengan membagi deformasi geser maksimum dengan 50. t_{50} deformmasi geser maksimum kira-kira 10% diameter asli benda uji.
- 8) Lakukan pemeriksaan sehingga tekanan geser konstan dan bacalah arloji geser setiap 15 detik.
- 9) Berikan beban normal pada benda uji kedua sebesar dua kali beban normal yang pertama dann langkah (6), (7), dan (8).

- 10) Berikan beban normal pada benda uji ketiga sebesar tiga kali beban normal pertama dan lakukan langkah-langkah (6), (7), dan (8).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Sifat Fisis Tanah

a. Kadar Air Awal (w)

Dari pengujian kadar air awal lempung Desa Punukan, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta diperoleh nilai kadar air awal sebesar 10,04%.

b. Berat Jenis Tanah (G)

Dari pengujian berat jenis tanah lempung Desa Punukan, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta diperoleh nilai berat jenis tanah sebesar 2,423.

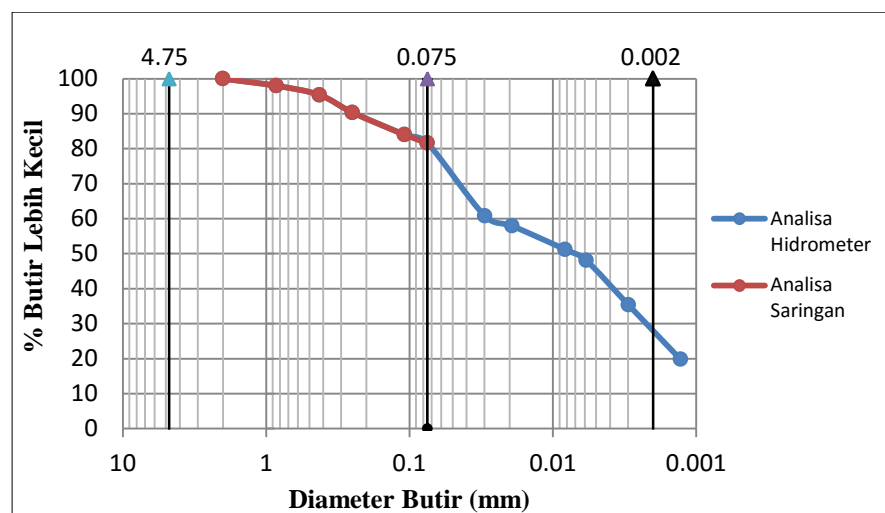
2. Batas-batas Konsistensi (Atterberg)

Batas-batas Konsistensi (Atterberg) meliputi Batas Cair (*Liquid Limit*), Batas Plastis (*Plastic Limit*) dan Indeks Plastis (*Plasticity Index*), serta Batas Susut (*Shrinkage Limit*). Dari pengujian yang telah dilakukan terhadap tanah lempung Desa Punukan, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta diperoleh angka Batas Cair sebesar 47,63% dengan cara grafik diperoleh nilai Batas Cair sebesar 47,82%. Sedangkan nilai Batas Plastis diperoleh nilai sebesar 27,88% dan Indeks Plastis sebesar 19,75%. Serta nilai Batas Susut diperoleh nilai sebesar 12,43%, angka susut

sebesar $0,837 \text{ kg/cm}^3$, susut volumetrik sebesar 58,14% dan susut linier sebesar 14,16%.

3. Distribusi Ukuran Butir

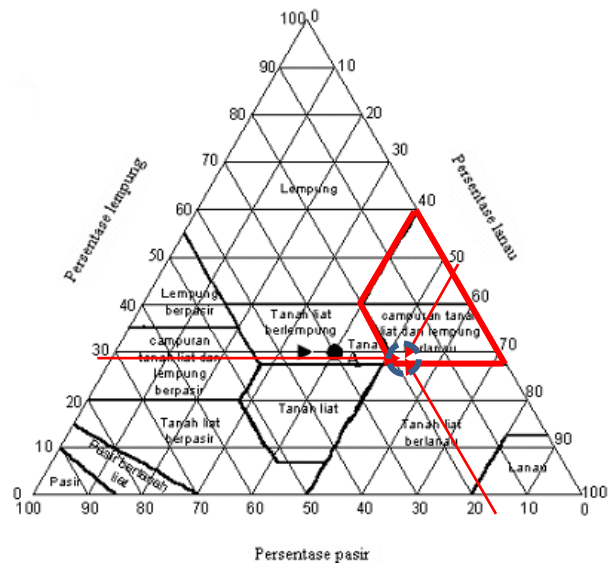
Distribusi ukuran butir tanah dianalisis dengan dua cara yaitu, analisis *hydrometer* (pengendapan) dan analisis saringan. Berikut ini hasil hitungan yang diperoleh dari pengujian distribusi ukuran butir.



Gambar 14. Grafik Distribusi Ukuran Butir Tanah

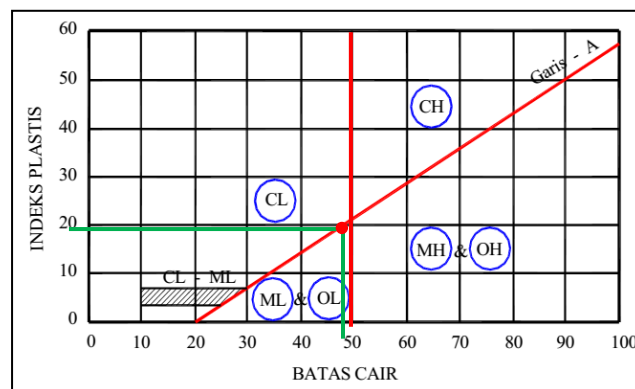
Tabel 11. Persentase/Fraksi Tanah Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta

Persentase Fraksi/Jenis Tanah	Tanah Desa Punukan
Fraksi kasar (partikel > 0,075 mm)	18,40%
Fraksi halus (partikel < 0,075 mm)	81,60%
Ukuran partikel:	
Kerikil (>4,75 mm)	0%
Pasir (0,075 – 4,75 mm)	18,40%
Lanau (2 mm – 0,075 mm)	53,68%
Lempung (< 2 mm)	27,92%



Gambar 15. Diagram Identifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Butir

Berdasarkan hasil dari identifikasi tanah berdasar ukuran butir pada gambar 15 menyatakan bahwa tanah Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta termasuk jenis campuran tanah liat dan lempung berlanau. Sementara berdasarkan acuan pada sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) tergolong dalam tanah berbutir halus (fraksi yang berukuran lebih kecil dari 0,075 mm adalah lebih besar dari 50%).



Gambar 16. Grafik Plastisitas Identifikasi Jenis Tanah

Dari gambar 16 grafik plastisitas identifikasi jenis tanah dengan nilai LL 47,63% dan PI sebesar 19,75%, berdasarkan sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) tanah Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta diklasifikasikan OL (*Organic Silt or Clay-low-Plasticity*) yaitu lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah. Sedangkan identifikasi jenis tanah menurut AASHTO, terlebih dahulu dihitung nilai GI, menggunakan persamaan (1):

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(PI - 10) \dots\dots (1)$$

$$GI = (81,60 - 35)[0,2 + 0,005 (47,63 - 40)] + 0,01 (81,60 - 15)(19,75 - 10)$$

$$GI = 17,60 \approx 18$$

Mengingat $PL < 30\%$ (27,88%), maka tanah Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta diklasifikasikan A-5(18) yaitu tanah berlanau sedang sampai buruk.

4. Pemadatan Tanah

Pemadatan Tanah standar digunakan untuk memperoleh kadar air optimum yang dipakai untuk pembuatan benda uji. Hasil pemadatan tanah Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta diperoleh nilai kadar air optimum sebesar 31% dengan nilai γ_d (berat volume kering) sebesar $1,29 \text{ gr/cm}^3$ dan nilai γ_b (berat volume basah) sebesar $1,71 \text{ gr/cm}^3$.

5. Berat Jenis Plastik

Dari pemeriksaan berat jenis plastik *Polypropylene* yang digunakan sebagai bahan campuran lempung diperoleh berat jenis plastik sebesar $1,56 \text{ gr/cm}^3$ (Atmoko. 2015:106).

B. Pembahasan

1. Uji Tekan Bebas

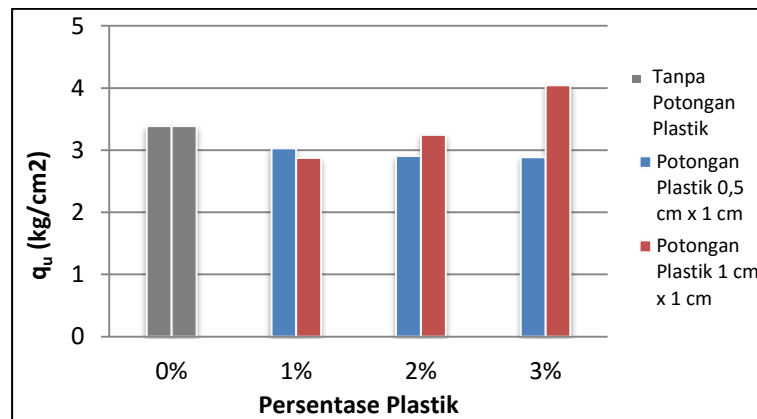
Uji tekan bebas bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi terhadap lempung pada penambahan campuran potongan plastik dengan membandingkan nilai-nilai yang diperoleh dari tekan bebas yaitu nilai kuat tekan (q_u), sudut geser tanah (ϕ) dan cohesi (c).

Tabel 12. Nilai q_u , ϕ , dan c Uji Tekan Bebas Campuran Potongan Plastik 0,5 cm x 1 cm

No.	Persentase	Benda Uji	Kuat Tekan q_u σ_{\max} (kg/cm^2)	ϕ $= 2(\theta - 45^\circ)$	$c = \frac{q_u}{(2 \tan \theta)}$ (kg/cm^2)
1	0%	1	3,4874	30	1,0067
		2	3,4943	10	1,4660
		3	3,1794	2	1,5352
		Rata-rata	3,3870	14	1,3360
2	1%	1	3,0852	12	1,2492
		2	2,9942	0	1,5503
		3	3,0093	2	1,4530
		Rata-rata	3,0295	4,67	1,4175
3	2%	1	2,9479	6	1,3271
		2	2,8102	0	2,2487
		3	2,9633	20	1,0375
		Rata-rata	2,9071	8,67	1,5378
4	3%	1	3,0250	0	2,1601
		2	2,9172	0	1,4586
		3	2,7186	0	1,9413
		Rata-rata	2,8870	0	1,8533

Tabel 13. Nilai q_u , ϕ , dan c Uji Tekan Bebas Campuran Potongan Plastik 1 cm x 1 cm

No.	Persentase	Benda Uji	Kuat Tekan q_u σ_{max} (kg/cm ²)	ϕ $= 2(\theta - 45^\circ)$	$c = \frac{q_u}{(2 \tan \theta)}$ (kg/cm ²)
1	0%	1	3,4874	30	1,0067
		2	3,4943	10	1,4660
		3	3,1794	2	1,5352
		Rata-rata	3,3870	14	1,3360
2	1%	1	2,6101	0	2,2604
		2	2,9324	32	0,8127
		3	3,0800	0	0,1772
		Rata-rata	2,8742	10,67	1,6149
3	2%	1	2,9172	28	0,8764
		2	3,2242	0	2,3023
		3	3,5993	0	2,5702
		Rata-rata	3,2469	9,33	1,9163
4	3%	1	3,1794	0	3,4091
		2	4,3604	16	1,6429
		3	4,5993	0	5,1651
		Rata-rata	4,0464	5,33	3,4057



Gambar 17. Diagram Nilai Uji Tekan Bebas (q_u)

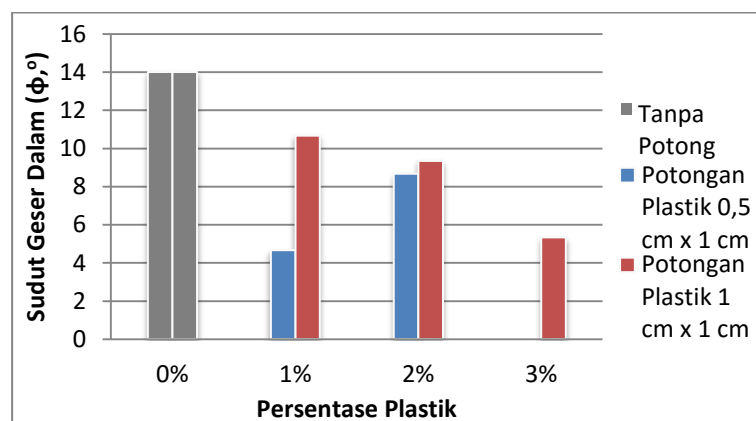
Dari gambar 17 diagram nilai uji tekan bebas, nilai q_u tanpa potongan plastik (persentase 0%) diperoleh nilai q_u sebesar 3,3873

kg/cm² menurun sebesar 10,56% pada persentase 1% untuk campuran plastik ukuran potongan 0,5 cm x 1 cm dengan nilai q_u sebesar 3,0295 kg/cm², sementara untuk persentase 2% terjadi penurunan lagi sebesar 14,18% yaitu dengan nilai q_u sebesar 2,9071 kg/cm², serta untuk persentase 3% mengalami penurunan kembali sebesar 14,77% yaitu dengan nilai q_u sebesar 2,8869 kg/cm², nilai q_u tertinggi untuk ukuran potongan plastik 0,5 cm x 1 cm terdapat pada persentase 1% akan tetapi nilai q_u tersebut belum melampaui nilai q_u tanpa serat yaitu dengan nilai q_u sebesar 3,3873 kg/cm².

Sementara untuk ukuran 1 cm x 1 cm dari persentase 1% dengan nilai q_u sebesar 2,8742 kg/cm² menurun 15,15% terhadap nilai q_u tanpa menggunakan serat potongan plastik (persentase 0%) dengan nilai sebesar 3,3873 kg/cm², sementara untuk persentase 2% dengan nilai q_u sebesar 3,2469 kg/cm² masih terjadi penurunan sebesar 4,15% namun untuk persentase 3% terjadi kenaikan sebesar 19,46% dengan nilai q_u 4,0464 kg/cm². Dengan demikian nilai q_u terbesar dari potongan plastik ukuran 1 cm x 1 cm terdapat pada persentase 3% dengan nilai q_u sebesar 4,0464 kg/cm².

Pada ukuran plastik 1 cm x 1 cm terjadi peningkatan nilai q_u pada persentase 3% namun menurun di persentase 1% dan 2%. Peningkatan nilai tekan dikarenakan tanah yang diperkuat dengan potongan plastik yang berbentuk zig-zag sehingga beban yang di terima oleh butiran tanah di transfer melalaui gesekan antara tanah dan plastik karena plastik

mampu mengikat tanah tersebut. Untuk penurunan terjadi dikarenakan terlalu banyak plastik sehingga memisahkan tanah yang satu dengan yang lainnya karena terjadi penumpukan potongan plastik dan karena sifat plastik yang licin sehingga plastik tidak dapat mengikat tanah dengan sempurna sehingga tidak mampu mentransfer beban melalui gesekan antara tanah dan plastik namun itu hanya terjadi di campuran potongan plastik dengan ukuran 0,5 cm x 1 cm. Akan tetapi sebaliknya, di campuran potongan plastik ukuran 1 cm x 1 cm terjadi kenaikan sedikit-sedikit walau saat persentase 1% dan 2% masih di bawah nilai q_u tanpa serat potongan plastik.

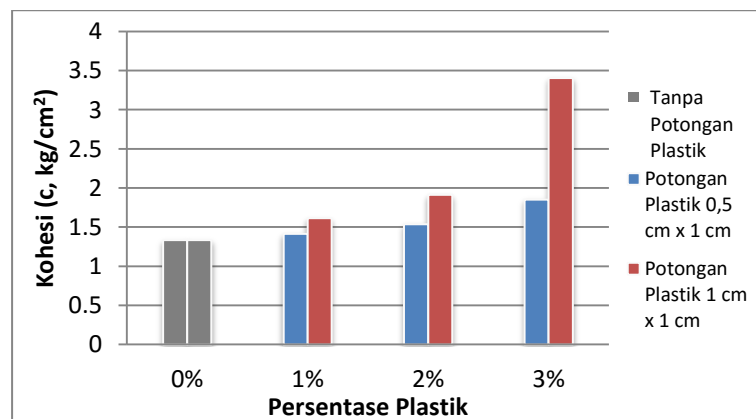


Gambar 18. Diagram Nilai Sudut Geser Uji Tekan Bebas

Dari gambar 18 nilai sudut geser dalam (ϕ), nilai sudut geser dalam untuk benda uji tanpa campuran potongan plastik (persentase 0%) diperoleh nilai sebesar 14° , menurun 66,64% pada benda uji dengan campuran potongan plastik berukuran 0,5 cm x 1 cm pada persentase 1% dengan nilai sebesar $4,67^\circ$, untuk persentase 2% menurun sebesar

38,07% yaitu dengan nilai $8,67^\circ$, dan untuk persentase 3% menurun kembali sebesar 100% dengan nilai sudut geser dalam sebesar 0° . Sementara untuk campuran potongan plastik dengan ukuran 1 cm x 1 cm dengan persentase 1% menurun 23,79% dengan nilai sudut geser dalam sebesar $10,67^\circ$, kemudian persentase 2% menurun 33,36% dengan nilai sudut geser dalam sebesar $9,33^\circ$ serta untuk persentase 3% kembali mengalami penurunan sebesar 61,93% dengan nilai sudut geser dalam $5,33^\circ$.

Sudut geser dalam bersama dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah, dengan demikian semakin rendah nilai sudut geser dalam maka akan semakin besar nilai q_u , sehingga ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah akan semakin besar.



Gambar 19. Diagram Nilai Kohesi Uji Tekan Bebas

Dari gambar 19 nilai kohesi untuk benda uji tanpa campuran potongan plastik (persentase 0%) diperoleh hasil sebesar $1,3360 \text{ kg/cm}^2$,

kemudian pada persentase 1% campuran potongan plastik dengan ukuran 0,5 cm x 1 cm naik 6,10% dengan nilai kohesi sebesar 1,4175 kg/cm², persentase 2% naik 15,10% dengan nilai kohesi sebesar 1,5378 kg/cm², serta pada persentase 3% naik kembali sebesar 38,72% dengan nilai kohesi 1,8533 kg/cm². Pada persentase 1% campuran potongan plastik dengan ukuran 1 cm x 1 cm naik 20,88% dengan nilai kohesi sebesar 1,6149 kg/cm², persentase 2% naik 43,44% dengan nilai kohesi 1,9163 kg/cm², serta untuk persentase 3% mengalami peningkatan yang tajam yaitu sebesar 154,92% dengan nilai kohesi sebesar 3,4057 kg/cm².

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa nilai q_u tertinggi yaitu pada persentase 1% untuk campuran potongan plastik dengan ukuran 0,5 cm x 1 cm dengan nilai q_u sebesar 3,0295 kg/cm² namun nilai ini belum melampaui nilai q_u pada benda uji yang tidak ditambah dengan campuran potongan plastik dengan nilai q_u sebesar 3,3873 kg/cm². Selain itu, nilai q_u tertinggi untuk campuran potongan plastik dengan ukuran 1 cm x 1 cm terdapat pada persentase 3% dengan nilai q_u sebesar 4,0464 kg/cm².

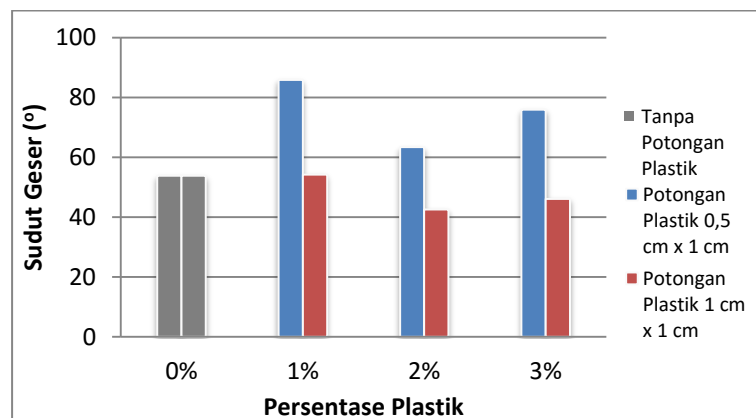
2. Uji Geser Langsung

Uji Geser Langsung merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter kekuatan geser tanah yaitu sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c). Hasil pengujian tanah Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta diperoleh nilai-

nilai yang dijelaskan pada tabel 14 dan gambar 20 sampai dengan gambar 21.

Tabel 17. Nilai sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c) pengujian geser Langsung

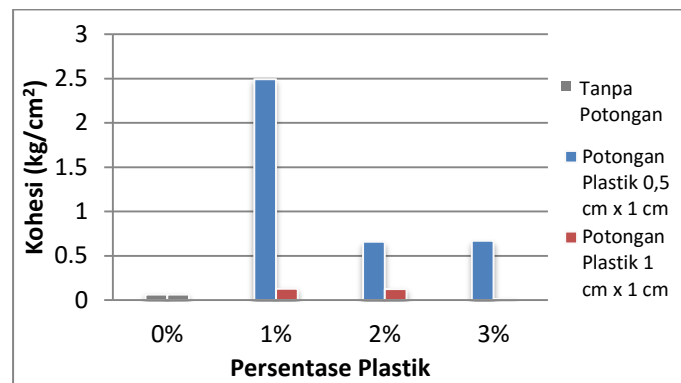
No.	Ukuran Potongan Plastik	Persentase	Sudut Geser Dalam (ϕ)	Kohesi (c) kg/cm^2
1	Tanpa potongan plastik	0%	55,77°	0,0615
2	0,5 cm x 1 cm	1%	85,91°	2,4909
		2%	63,43°	0,6561
		3%	75,96°	0,6672
3	1 cm x 1 cm	1%	54,22°	0,1283
		2%	42,55°	0,1225
		3%	46,10°	0,0122



Gambar 20. Nilai Sudut Geser Pengujian Geser Langsung

Dari gambar 20 nilai sudut geser pengujian geser langsung untuk benda uji tanpa menggunakan campuran potongan plastik diperoleh nilai sebesar 53°, kemudian, pada campuran potongan plastik 0,5 cm x 1 cm dengan persentase 1% naik 60,28% dengan nilai sudut geser sebesar 85°, persentase 2% naik 19,67% dengan nilai sudut geser sebesar 63,43°, dan persentase 3% naik 43,32% dengan nilai sudut geser sebesar 75,96°.

Serta untuk persentase 1% pada campuran potongan plastik 1 cm x 1 cm naik 2,30% dengan hasil sudut geser sebesar $54,22^\circ$, persentase 2% turun 19,72% dengan nilai sudut geser sebesar $42,55^\circ$ dan persentase 3% turun 13,02% dengan nilai sudut geser sebesar $46,10^\circ$.



Gambar 21. Nilai Kohesi (c) dari Pengujian Geser Langsung

Dari gambar 21 nilai kohesi (c) dari pengujian geser langsung untuk benda uji tanpa menggunakan campuran potongan plastik diperoleh nilai sebesar $0,0615 \text{ kg/cm}^2$, kemudian untuk campuran potongan plastik 0,5 cm x 1 cm pada persentase 1% naik tajam dengan nilai kohesi (c) sebesar $2,4909 \text{ kg/cm}^2$, persentase 2% naik dengan nilai kohesi (c) sebesar $0,6561 \text{ kg/cm}^2$, dan persentase 3% naik kembali dengan nilai kohesi (c) sebesar $0,6672 \text{ kg/cm}^2$. Serta, untuk hasil pengujian geser langsung dengan campuran potongan plastik 1 cm x 1 cm pada persentase 1% naik 108,62% dengan nilai kohesi (c) sebesar $0,1283 \text{ kg/cm}^2$, persentase 2% naik 99,19% dengan nilai kohesi (c) sebesar $0,1225 \text{ kg/cm}^2$, dan persentase 3% turun 80,16% dengan nilai kohesi (c) sebesar $0,0122 \text{ kg/cm}^2$.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap kuat tekan bebas dan geser langsung pada tanah Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta dengan campuran potongan plastik berbentuk zig-zag yang berukuran 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm serta dengan persentase masing-masing sebesar 0%, 1%, 2%, dan 3%, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) tanah Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta diklasifikasikan A-5(18) yaitu tanah berlanau sedang sampai buruk. Berdasarkan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) diklasifikasikan OL (*Organic Silt or Clay low-Plasticity*) yaitu lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah.
2. Berdasarkan pengujian kuat tekan bebas benda uji dengan campuran potongan plastik ukuran 0,5 cm x 1 cm nilai q_u tertinggi terdapat pada persentase 1% dengan nilai sebesar 3,0825 kg/cm² namun nilai tersebut belum melampaui nilai q_u tanpa campuran potongan plastik yaitu sebesar 3,1784 kg/cm². Nilai sudut geser dan kohesi berdasarkan pengujian kuat tekan bebas nilai tertinggi terdapat pada persentase 0% dan 3% dengan nilai 14° dan 1,8533 kg/cm². Berdasarkan pengujian geser langsung nilai

tertinggi sudut geser dan kohesi terdapat pada persentase 1% dan 1% dengan nilai $85,91^\circ$ dan $2,4909 \text{ kg/cm}^2$.

3. Berdasarkan pengujian kuat tekan bebas benda uji dengan campuran potongan plastik ukuran $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ nilai q_u tertinggi terdapat pada persentase 3% dengan nilai sebesar $4,0464 \text{ kg/cm}^2$. Nilai sudut geser dan kohesi berdasarkan pengujian kuat tekan bebas nilai tertinggi terdapat pada persentase 0% dan 3% dengan nilai 14° dan $3,4057 \text{ kg/cm}^2$. Berdasarkan pengujian geser langsung nilai tertinggi sudut geser dan kohesi terdapat pada persentase 0% dan 0% dengan nilai $55,77^\circ$ dan $0,0615 \text{ kg/cm}^2$.

B. Saran

Adapun saran berdasarkan pengujian yang telah dilakukan antara lain sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian dengan lebih banyak variasi persentase.
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian dengan jenis plastik lain dengan ukuran plastik yang lebih bervariasi atau dengan plastik dengan permukaan kasar serta bentuk yang berbeda dari sebelumnya.
3. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian dengan plastik kantong kresek selain untuk perkuatan tanah juga dapat menjadi alternatif pengurangan limbah kantong plastik.

4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada jenis tanah lain sehingga penggunaan limbah material plastik dapat digunakan sebagai bahan perkuatan tanah pada berbagai jenis tanah.

C. Keterbatasan Penelitian

Adapun keterbatasan masalah yang dialami saat pengujian antara lain sebagai berikut:

1. Tanah yang diambil sampel terbatas pada tanah yang berasal dari Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta.
2. Sulitnya mengatur homogenitas campuran potongan plastik. Variasi ukuran potongan plastik terbatas pada ukuran 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm serta persentase campuran potongan plastik terbatas pada persentase 1%, 2%, dan 3%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Munawiah. (2012). *Arti Simbol pada Kemasan Plastik*. Diakses dari al-atsariyyah.com/arti-simbol-pada-kemasan-plastik.html. Pada 19 Desember 2015, Jam 18.44 WIB
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 422-72. (2007). *Standard Method for Particle-Size Analysis of Soil*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 423-66. (1972). *Standard Test Method of Test for Liquid Limit of Soil*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 424-74. (1971). *Standard Test Method of Test for Plastic Limit of Soil*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 427-74. (1989). *Standard Test Method of Test for Shrinkage Limit of Soil*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 698-70. (1989). *Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 854-02. (2002). *Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 1140-00. (2006). *Standard Test Methods for Determining the Amount of Material Finer Than 75- μ m (No. 200) Sieve in Soils by Washing*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 2166-85. (2008). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 2216-71. (1989). *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*.
- Andriawan, dkk. 2013. *Laporan Pratikum Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Anonim. 2000. *Pedoman Pratikum Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik UNY

- Anonim. 2012. *Pedoman Pratikum Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik UNY
- Anonim. 2011. *Mengenal Tanda-tanda Plastik*. Diakses dari <http://hubbunshop.blogspot.co.id/2011/05/mengenal-tanda-tanda-plastik.html>. Pada 19 Desember 2015, Jam 22.05 WIB
- Apriyono; Sumiyanto. 2015. *Buku Panduan Pratikum Mekanika Tanah*. Universitas Jendral Soedirman
- Atmoko, Dian Widhi. 2015. *Pengaruh Penambahan Potongan Material Limbah Plastik Terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Kasongan, Bantul, Yogyakarta (Proyek Akhir)*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Endaryanta. 2013. *Diktat Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2012). *Mekanika Tanah I. edisi. ke-6*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2010). *Mekanika Tanah II. edisi. ke-5*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Muhammad Shiddiqi Hajar. (2015). *Pengaruh bahan Tambah Potongan Limbah Material Plastik terhadap Kuat Tekan Bebas pada Tanah Lempung Wates, Kulonprogo, Yogyakarta (Proyek Akhir)*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta

PROYEK AKHIR

**PENGARUH BAHAN TAMBAH CACAHAN LIMBAH PLASTIK BOTOL
AIR MINERAL PLASTIK TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS DAN
KUAT GESER LANGSUNG PADA LEMPUNG DESA PUNUKAN,
KULON PROGO**

LAMPIRAN

Oleh : Arif Purnomo

NIM : 12510134044

JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2016





**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TENIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arif Purnomo
NIM : 12510134044
Program Studi : Teknik Sipil – D3

Menyatakan bahwa saya telah menyelesaikan pengujian tanah Desa Punukkan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta yang dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, berikut pengujian yang telah dilaksanakan:

1. Kadar Air
2. Berat Jenis
3. Batas Cair
4. Batas Plastis
5. Batas Susut
6. Pemadatan
7. Kuat Tekan Bebas
8. Kuat Geser Langsung

Pengujian tersebut dibimbing dan diketahui oleh:

Pembimbing Pengujian,

Suyatno

Yogyakarta, 24 Mei 2016

Penguji,

Arif Purnomo
NIM. 12510134044



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Kadar Air Tanah Lempung

Tanggal Pengujian : 21 Desember 2015

Tabel 15. Pemeriksaan Kadar Air (w)

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	14,41	14,48
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	39,37	39,50
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	37,10	37,21
Berat air	$A = W_2 - W_3$	2,27	2,29
Berat tanah kering	$B = W_2 - W_1$	22,69	22,73
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	10,00	10,07
Kadar air rata-rata		10,04 %	

Dari hasil pengujian di laboratorium, kadar air Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta diperoleh hasil kadar air sebesar 10,04%



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Berat Jenis Tanah Lempung

Tanggal Pengujian : 21 Desember 2015

Tabel 16. Pemeriksaan Berat Jenis (G)

Piknometer No.		1 (kecil)	2 (besar)
Berat piknometer kosong	W_1 (gram)	25,34	31,61
Berat piknometer kosong + tanah kering	W_2 (gram)	38,33	68,84
Berat piknometer kosong + tanah + air	W_3 (gram)	83,55	147,97
Berat piknometer kosong + air	W_4 (gram)	75,56	127,29
Temperatur ($t^{\circ}\text{C}$)		28 $^{\circ}$	28 $^{\circ}$
$A = W_2 - W_1$ (gram)		12,99	37,23
$B = W_3 - W_4$ (gram)		7,99	20,68
$C = A - B$ (gram)		5,00	16,55
Berat Jenis $G_s = \frac{A}{C}$		2,60	2,25
Berat jenis tanah (G_s)		2,424	
$G_s \text{ untuk } 27,5^{\circ}\text{C} = G_s \frac{B_j \text{ air } t^{\circ}}{B_j \text{ air } 27,5^{\circ}}$		2,423	2,423
$G_s \text{ untuk } 27,5^{\circ}\text{C}$		2,423	

Dari hasil pengujian di laboratorium, berat jenis tanah lempung Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta diperoleh hasil berat jenis sebesar 2,423.



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

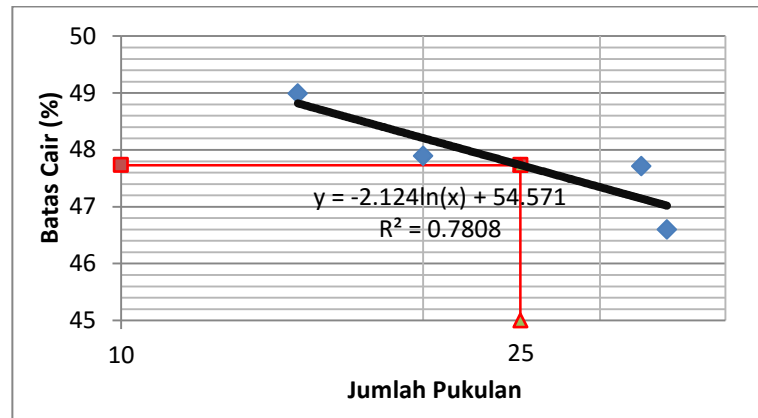
Judul Pengujian : Pemeriksaan Batas Cair (LL)

Tanggal Pengujian : 23 Desember 2015

Tabel 17. Pemeriksaan Batas Cair

Pengujian No.			I		II		III		IV	
Jumlah Pukulan			33	33	35	35	20	20	15	15
No. Cawan timbang			1	1	2	2	3	3	4	4
Berat cawan kosong	W ₁ gram		8,86	13,80	13,12	14,70	11,33	14,28	17,13	14,63
Berat cawan + tanah basah	W ₂ gram		27,55	29,75	29,32	31,62	21,28	28,67	26,65	25,20
Berat cawan + tanah kering	W ₃ gram		21,34	24,75	24,26	26,15	21,28	25,57	26,65	25,20
Berat air	A = W ₂ - W ₃		6,21	5,00	5,06	5,47	4,46	5,46	4,59	5,26
Berat tanah kering	B = W ₂ - W ₁		12,48	10,95	11,11	11,45	9,95	11,39	9,52	10,57
Kadar air	w = $\frac{A}{B} \times 100\%$		49,76	45,66	45,31	49,76	46,56	46,66	45,32	46,78
Kadar air rata-rata			47,71		46,60		47,89		48,99	
Batas cair (LL) = $w \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121}$	%		51,46	47,22	47,31	49,76	46,56	46,66	45,32	46,78
Batas cair rata-rata	%		49,34		48,53		46,61		46,05	
Batas cair dari hitungan rumus	%		47,63							

Dari hasil pengujian di laboratorium, batas cair tanah lempung Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta diperoleh hasil batas cair sebesar 47,63%. Sementara untuk mencari nilai batas cair menggunakan grafik dapat dicari dengan menarik garis lurus pada pukulan ke 25 yaitu sebagai berikut:.



Gambar 22. Grafik Batas Cair

Dari gambar 22 grafik batas cair diperoleh hasil batas cair sebesar 47,73%.



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Batas Plastis (SL)

Tanggal Pengujian : 28 Desember 2015

Tabel 18. Pemeriksaan Batas Plastis

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	14,58	14,24
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	39,75	39,07
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	33,86	34,07
Berat air	$A = W_2 - W_3$	5,89	5,00
Berat tanah kering	$B = W_2 - W_1$	19,28	19,83
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	30,55	25,22
Batas Plastis (PL)		27,88 %	

Dari hasil pengujian di laboratorium, batas plastis tanah lempung Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta diperoleh hasil batas plastis sebesar 27,88%



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Batas Susut dan Faktor-Faktor Susut Tanah

Tanggal Pengujian : 4 Januari 2016

Tabel 19. Kadar Air Tanah Basah

No. Cawan susut		1 (kecil)	2 (besar)
Berat cawan susut	W_1 gram	10,38	35,83
Berat cawan susut + tanah basah	W_2 gram	34,69	64,80
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	23,71	52,00
Berat tanah kering	$A = W_2 - W_1$ gram	10,98	12,80
Berat air	$B = W_2 - W_3$ gram	13,33	16,17
Kadar air tanah	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	82,37 %	79,16 %
Kadar air tanah (w)		80,765 %	

Tabel 20. Berat jenis tanah sudah diketahui berat jenis butir/tanah:
 $G = 2,423$

No. Cawan susut		1	2
Berat cawan + tanah kering	W_1 gram	23,71	52,00
Berat cawan susut	W_2 gram	10,38	35,83
Berat tanah kering	$W_0 = W_1 - W_2$ gram	13,33	16,17
Berat air raksa	W_3 gram	216,91	262,42
Volume tanah basah (volume cawan susut)	$V = \frac{W_3}{13,6} \text{ cm}^3$	15,95	19,30
Berat air raksa tumpahan	W_4 gram	93,21	123,14
Volume tanah kering	$V_0 = \frac{W_4}{13,6} \text{ cm}^3$	6,85	9,05
Batas susut tanah	$SL = \left(\frac{V_0}{W_0} - \frac{1}{G} \right) \times 100\%$	10,14 %	14,72 %
Batas susut tanah rata-rata		12,43 %	

Tabel 21. Faktor-faktor Susut Tanah

No. Cawan		1	2
Angkat susut	$SR = \frac{W_0}{V}$	0,836 gr/cm ³	0,868 gr/cm ³
Susut volumetrik	$VS = (w - SL) SR$	60,36 %	55,92 %
Susut linier	$L_s = 100 \left(1 - \sqrt[3]{\frac{100}{VS + 100}} \right)$	14,57 %	13,76 %



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Distribusi Ukuran Butir Tanah

Tanggal Pengujian : 5 Januari 2016

Tabel 22. Pemeriksaan Kadar Air

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	14,26	13,91
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	29,57	27,39
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	28,05	26,03
Berat air	$A = W_2 - W_3$	1,52	1,36
Berat tanah kering	$B = W_2 - W_1$	13,79	12,12
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	11,02	11,22
Kadar air rata-rata (w)		11,12 %	

Tabel 23. Berat Tanah

Berat total contoh tanah basah yang akan diperiksa	$B_0 = 84,11$ gram
Kadar air contoh tanah	$w = 11,12$ %
Berat total contoh tanah kering oven yang diperiksa	$W = \frac{B_0}{1 + w} = 75,69$ gram
Berat total contoh tanah kering oven yang berdiameter > 0,075 mm	$B_1 = W - B_2 = 13,93$ gram
Berat tanah berdiameter < 0,075	$B_2 = 61,76$ gram

Tabel 24. Analisa Endapan (Pengujian Hidrometer)

Tipe hidrometer				151 H / 152 H				Berat total tanah yang diawali pada pemeriksaan pengendapan $W = \dots\dots\dots$				
Koreksi meniskus hidrometer				$m = 1,0$				gram				
Berat jenis tanah				$G = 2,423$				Untuk hidrometer 151 H ; K1				
Koreksi hidrometer 152 H				$\alpha = 1,070$				$= \left(\frac{100}{W'} \times \frac{G}{G-1} \right)$				
<i>Reagen</i>				$\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaPO}_3$				$= \frac{a}{w} \times 100$				
Banyak <i>reagen</i>				$\dots\dots\dots \text{ ml/gram}$				$= 1,414$				
Tanggal	Waktu T (menit)	Pembacaan hidrometer dalam suspensi R1	Pembacaan hidrometer dalam cairan R2	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)		Pembacaan hidrometer terkoreksi minikus $R^2 = R1 + m$	Kedalaman) L (cm)	Konstanta)*) K	Diameter butir $D = K \sqrt{\frac{L}{T}}$ (mm)	Pembacaan hidrometer terkoreksi $R = R1 + R2$	Persen berat lebih kecil *)*) (%)	
				t_1	t_2							
	6 Januari 2016	2	42	-1	24,5	24,5	43	9,20	0,013930	0,029877	43	60,786
	6 Januari 2016	5	40	-1	24,5	24,5	41	9,60	0,013930	0,019302	41	57,959
	6 Januari 2016	30	35,2	-1	24,5	24,5	36,2	10,38	0,013930	0,008194	36,2	51,173
	6 Januari 2016	60	34	0	24,8	24,8	35	10,60	0,013936	0,005858	34	48,063
	6 Januari 2016	250	24	-1	28	28	25	12,20	0,013460	0,002973	25	35,341
	7 Januari 2016	1440	14	0	24,2	24,2	15	12,30	0,013938	0,001288	14	19,791
*) Dibaca dari tabel (tabel 6)							***) Dihitung berdasarkan rumus					
***) Dibaca dari tabel (tabel 8) berdasarkan t dan G_s							- Untuk 151 H ; P = K1 (R^2-1)					
							- Untuk 152 H ; P = K2 . R					

Tabel 25. Data Saringan Butir Pasir (Setelah Analisa Pengendapan)

Saringan	Ukuran butir (mm)	Berat tertahan saringan (gram)	Berat lewat saringan (gram)	Persentase lewat saringan $\frac{e}{W} \times 100\%$
No. 200	0,075	$b_6 = 1,81$	$c_6 = 61,76$	81,60 %
No. 140	0,108	$b_5 = 4,81$	$c_5 = 63,57$	83,99 %
No. 60	0,250	$b_4 = 3,83$	$c_4 = 68,38$	90,34 %
No. 40	0,425	$b_3 = 1,97$	$c_3 = 72,19$	95,38 %
No. 20	0,850	$b_2 = 1,53$	$c_2 = 74,16$	97,98 %
No. 10	2,000	$b_1 = 0$	$c_1 = 75,69$	100 %
Berat butiran lebih kecil 0,075 mm		$B_2 = 61,76$ gram		
Jumlah		$W = 75,69$ gram		

$$c_6 = B_2$$

$$c_5 = c_6 + b_6$$

$$c_4 = c_5 + b_5$$

$$c_3 = c_4 + b_4$$

$$c_2 = c_3 + b_3$$

$$c_1 = c_2 + b_2$$



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemadatan Tanah

Tanggal Pengujian : 18 Januari 2016

Tabel 26. Kebutuhan Penambahan Air untuk Setiap Pengujian Pemadatan Standar

No. Percobaan		1	2	3	4	5
Berat tanah yang dibutuhkan	(gram)	2500	2500	2500	2500	2500
Jumlah air yang dibutuhkan	(ml)	250	350	450	550	850

Tabel 27. Data Ukuran Silinder dan Jumlah Pukulan pada Pengujian Pemadatan Standar

Diameter	10,33 cm
Tinggi	11,60 cm
Volume (V)	970,30 cm
Barat penumbuk	4,246 kg
Jumlah lapisan	3 lapis
Jumlah tumbukan	25 kali

Tabel 28. Data Hasil Percobaan dan Hitung Nilai γ_b Pemadatan Standar

Percobaan No.	1	2	3	4	5	
Berat silinder + tanah padat	gram	3142	3181	3268	3312	3340
Berat silinder	gram	1651	1651	1651	1651	1651
Berat tanah padat (A)	gram	1491	1530	1617	1661	1689
Berat Volume basah $\left(\gamma_b = \frac{A}{V}\right)$	gr/cm ³	1,53	1,57	1,66	1,71	1,74

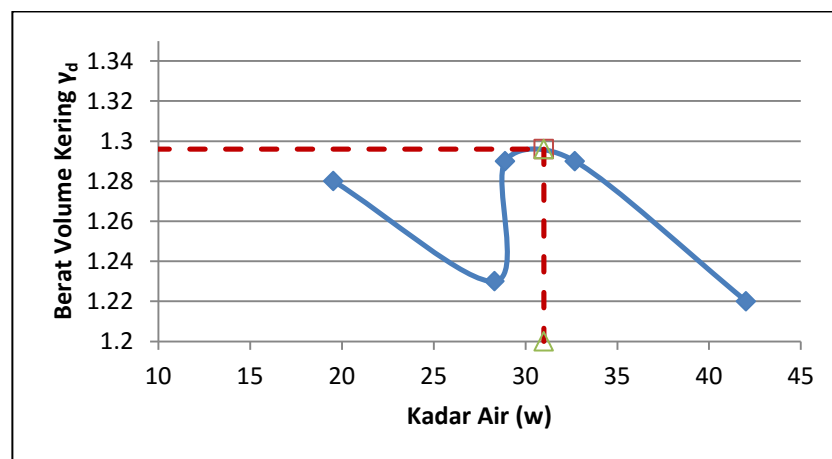
Tabel 29. Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai γ_b Pemadatan Standar

No. Cawan timbang		1	2	1	2	1	2	1	2			
Berat cawan kosong	W ₁ (gram)	9,45	13,79	9,50	13,95	17,16	9,36	9,59	11,87	11,28	14,00	
	W ₂ (gram)	45,42	37,69	36,22	38,57	48,45	44,00	46,24	47,14	41,94	41,29	
Berat cawan + tanah kering		W ₃ (gram)	39,63	33,72	30,47	33,00	41,63	36,02	36,71	38,95	32,94	33,15
Berat air	A = W ₂ – W ₃	5,76	3,97	5,75	5,57	6,82	7,98	9,53	8,19	9,00	8,14	
Berat tanah kering	B = W ₃ – W ₁	30,18	19,93	20,97	19,05	24,47	26,66	27,12	27,08	21,66	19,15	
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	19,18	19,92	27,42	29,24	27,87	29,93	35,14	30,24	41,55	42,51	
Kadar air	(w) %	19,55		28,33		28,90		32,69		42,03		
Berat volume kering	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$ (gr/cm ³)	1,28		1,23		1,29		1,29		1,22		

Berikut ini data-data dan hasil hitungan yang diperoleh dari pengujian pemadatan standar.

Tabel 30. Hasil Perhitungan Pengujian Pemadatan

Percobaan No.		1	2	3	4	5
Kadar air rata-rata	%	19,55	28,33	28,90	32,69	42,03
Berat volume basah (γ_b)	gr/cm ³	1,53	1,57	1,66	1,71	1,74
Berat volume kering (γ_d)	gr/cm ³	1,28	1,23	1,29	1,29	1,22



Gambar 23. Grafik Hubungan Kadar Air (w) dengan Berat Volume Kering γ_d

Dari grafik hubungan kadar air (w) dengan berat volume kering γ_d diperoleh kadar air optimum pada pengujian standar yaitu sebesar 31% dengan nilai γ_d (berat volume kering) sebesar 1,29 gr/cm³ dan nilai γ_b (berat volume basah) sebesar 1,71 gr/cm³.



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Berat Jenis Plastik

Tanggal Pengujian : 13 Februari 2016

Tabel 32. Pemeriksaan Berat Jenis Plastik

No. Plastik		1	2	3	4	5
Berat Plastik (W)	gram	0,5	0,48	0,57	0,51	0,58
Panjang Plastik (P)	mm	50	50	50	50	50
Lebar Plastik (L)	mm	50	50	50	50	50
Tebal Plastik (T)	mm	0,146	0,122	0,142	0,124	0,142
Volume Plastik (V)	cm ³	0,365	0,305	0,355	0,310	0,355
Berat Jenis Plastik (W/V)	gr/cm ³	1,36	1,57	1,60	1,64	1,63
		1,56				

Sumber: Dian Widhi Atmoko, 2015: 106



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

Judul Pengujian : Data Persiapan Pengujian Tekan Bebas

Tanggal Pengujian : 13 Februari 2016

Tabel 32. Menentukan Kadar Air Awal

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	11,34	8,95
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	31,16	26,22
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	29,22	24,19
Berat air	$A = W_2 - W_3$	1,94	2,03
Berat tanah kering	$B = W_2 - W_1$	17,88	15,24
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	10,85	8,21
Kadar air rata-rata		9,53 %	

Tabel 33. Data Benda Uji Tekan Bebas Silinder 1

Diameter silinder (D)	5 cm
Tinggi silinder (Lo)	10 cm
Luas silinder (Ao)	19,635 cm ²
Volume (V)	196,350 cm ³
Berat silinder	265 cm

Tabel 34. Data Benda Uji Tekan Bebas Silinder 2

Diameter silinder (D)	4,980 cm
Tinggi silinder (Lo)	9,980 cm
Luas silinder (Ao)	19,478 cm ²
Volume (V)	194,392 cm ³
Berat silinder	251 cm

Tabel 35. Data Benda Uji Tekan Bebas Silinder 3

Diameter silinder (D)	4,96 cm
Tinggi silinder (Lo)	10 cm
Luas silinder (Ao)	19,322 cm ²
Volume (V)	193,220 cm ³
Berat silinder	269 cm

Tabel 36. Data Benda Uji Tekan Bebas

Berat penumbuk	4,246 gram
Jumlah lapisan	5
Jumlah pukulan	25 buah
Kadar air optimum	31 %
Lama pemeraman	±12 jam
Angka kalibrasi (β)	0,626 kg/div

Tabel 37. Data Kebutuhan Serat Plastik Benda Uji Tekan Bebas

Tanggal		01/03/2016		01/03/2016		01/03/2016		01/03/2016	
Persentase campuran plastik		0%		1%		2 %		3 %	
Berat kebutuhan tanah untuk 1 benda uji		5000 gram		5000 gram		5000 gram		5000 gram	
Kadar air optimum		21,47 %		21,47 %		21,47 %		21,47 %	
Benda uji ke-		1	2	1	2	1	2	1	2
$w_k = \frac{5000}{1 + w}$	Gram	4116	4116	4116	4116	4116	4116	4116	4116
Kebutuhan plastik = persentase plastik x W_k	Gram	0	0	41,16	41,16	82,32	82,32	123,48	123,48



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN




Judul Pengujian : Pengujian Tekan Bebas

Ukuran Plastik : 0,5 cm x 1 cm




Angka Kalibrasi (β) : 0,626 kg/div

Tabel 38. Data Hasil Uji Tekan Bebas




Pembacaan Arloji (a)	Tanggal Pengujian											
	3 Maret 2016			3 Maret 2016			4 Maret 2016			17 Maret 2016		
	Persentase Campuran											
	0 %			1 %			2 %			3 %		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	22	23	24	9	36	13	21	5	14	11	16	3
100	59	60	63	16	52	31	42	20	400	31	40	10
150	81	82	84	24	66	57	63	42	64	56	61	24
200	91	92	92	39	78	75	76	59	78	74	75	44
250	99	99	98	60	86	88	85	71	88	85	84	61
300	103	103	101	82	92	94	90	79	93	93	89	73
350	107	107	102	93	95	95	93	87	95	96	93	81
400	108	111	103	98	97	97	95	89	96	98	94	85
450	111	112	103	100	97	98	96	91	96	98	95	88
500	113	114		101		98	96	92	97		95	89
550	114	115		101			96	92	97			89
600	115	115					97	91	98			
650	116						96					
700	116											

1	2	3
		
$\theta = 60^\circ$	$\theta = 50^\circ$	$\theta = 46^\circ$




Gambar 24. Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Tanpa Campuran Potongan Plastik

1	2	3
		
$\theta = 51^\circ$	$\theta = 44^\circ$	$\theta = 46^\circ$

Gambar 25. Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 0,5 cm x 1 cm (1%)

1	2	3
		
$\theta = 48^\circ$	$\theta = 32^\circ$	$\theta = 55^\circ$

Gambar 26. Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 0,5 cm x 1 cm (2%)

1	2	3
		
$\theta = 35^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 35^\circ$

Gambar 27. Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 0,5 cm x 1 cm (3%)

Tabel 39. Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai γ_b Uji Tekan Bebas Ukuran Plastik 0,5 cm x 1 cm

Tanggal	3 Maret 2016			3 Maret 2016			4 Maret 2016			14 Maret 2016			
Percentase campuran plastik	0%			1%			2 %			3 %			
Benda uji ke-	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Berat silinder	gram	265	251	269	265	251	269	265	251	269	265	251	269
Berat silinder + tanah padat	gram	627	614	626	616	610	620	619	607	620	607	598	614
Berat tanah (A)	gram	362	363	357	351	359	351	354	356	351	342	347	345
Volume (V)	cm ³	196,350	194,392	193,220	196,350	194,392	193,220	196,350	194,392	193,220	196,350	194,392	193,220
Berat volume basah $\left(\gamma_b = \frac{A}{V}\right)$	gr/cm ³	1,844	1,867	1,848	1,806	1,858	1,817	1,803	1,831	1,817	1,742	1,785	1,786

Tabel 40. Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (0%)

Pemendekan Tanah			Luas Tanah		Beban						Tekanan (σ)		
Pembacaan Arloji (a)	$\Delta L = a \times 0,001$ (cm)	Regangan $\frac{\Delta L}{\epsilon = L_0}$	Koreksi $1 - \epsilon$	Luas dikoreksi (cm ²) $A = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$	Pembacaan Arloji Beban (n)			Beban (kg) $P = n \cdot \beta$			$\sigma = P/A$ (kg/cm ²)		
					1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,00	0,000000	1,000000	19,4683	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0,05	0,005003	0,994997	19,5662	22	23	24	13,772	14,398	15,024	0,7039	0,7359	0,7679
100	0,10	0,010007	0,989993	19,6651	59	60	63	36,934	37,560	39,438	1,8782	1,9100	2,0055
150	0,15	0,015010	0,984990	19,7650	81	82	84	50,706	51,332	52,584	2,5655	2,5971	2,6605
200	0,20	0,020013	0,979987	19,8659	91	92	93	56,966	57,592	58,218	2,8676	2,8990	2,9305
250	0,25	0,025017	0,974983	19,9678	99	99	98	61,974	61,974	61,348	3,1037	3,1037	3,0723
300	0,30	0,030020	0,969980	20,0708	103	103	101	64,478	64,478	63,226	3,2126	3,2125	3,1501
350	0,35	0,035023	0,964977	20,1749	107	107	102	66,982	66,982	63,852	3,3201	3,3201	3,1649
400	0,40	0,040027	0,959973	20,2801	109	110	103	68,234	68,860	64,478	3,3646	3,3955	3,1794*
450	0,45	0,045030	0,954970	20,3863	111	112	103	69,486	70,112	64,478	3,4085	3,4392	3,1628
500	0,50	0,050033	0,949967	20,4937	113	114		70,738	71,364		3,4517	3,4822	
550	0,55	0,055037	0,944963	20,6022	114	115		71,364	71,990		3,4639	3,4943*	
600	0,60	0,060040	0,939960	20,7119	115	115		71,990	71,990		3,4758	3,4758	
650	0,65	0,065043	0,934957	20,8227	116			72,616			3,4874*		
700	0,70	0,070047	0,929953	20,9347	116			72,616			3,4687		
750	0,75	0,075050	0,924950	21,0480									

*Nilai qu

$$L_0 = 9,99 \text{ cm}$$

$$D_0 = 4,98 \text{ cm}$$

$$A_0 = 19,468 \text{ cm}^2$$

$$B = 0,626$$

Tabel 41. Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (1%)

Pemendekan Tanah			Luas Tanah		Beban						Tekanan (σ)			
Pembacaan Arloji (a)	ΔL = a x 0,001 (cm)	Regangan $\frac{\Delta L}{\epsilon} = \frac{\Delta L}{L_0}$	Koreksi 1 - ε	Luas dikoreksi (cm²) $A = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$	Pembacaan Arloji Beban (n)			Beban (kg) P = n.β			σ = P/A (kg/cm²)			
					1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	0,00	0,000000	1,000000	19,4683	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0,05	0,005003	0,994997	19,5662	9	36	13	5,634	22,536	8,138	0,2879	1,1518	0,4159	
100	0,10	0,010007	0,989993	19,6651	16	52	31	10,016	32,552	19,406	0,5093	1,6553	0,9868	
150	0,15	0,015010	0,984990	19,7650	24	66	57	15,024	41,316	35,682	0,7601	2,0904	1,8053	
200	0,20	0,020013	0,979987	19,8659	39	78	75	24,414	48,828	46,950	1,2289	2,4579	2,3633	
250	0,25	0,025017	0,974983	19,9678	60	86	88	37,560	53,836	55,088	1,8810	2,6961	2,7588	
300	0,30	0,030020	0,969980	20,0708	82	92	94	51,332	57,592	58,844	2,5575	2,8694	2,9318	
350	0,35	0,035023	0,964977	20,1749	93	95	95	58,218	59,470	59,470	2,8857	2,9477	2,9477	
400	0,40	0,040027	0,959973	20,2801	98	97	97	61,348	60,722	60,722	3,0250	2,9942*	2,9942	
450	0,45	0,045030	0,954970	20,3863	100	97	98	62,600	60,722	61,348	3,0707	2,9786	3,0093*	
500	0,50	0,050033	0,949967	20,4937	101		98	63,226		61,348	3,0851*		2,9935	
550	0,55	0,055037	0,944963	20,6022	101			63,226			3,0689			
600	0,60	0,060040	0,939960	20,7119										
650	0,65	0,065043	0,934957	20,8227										
700	0,70	0,070047	0,929953	20,9347										
750	0,75	0,075050	0,924950	21,0480										

*Nilai qu $L_0 = 9,99$ cm $D_0 = 4,98$ cm $A_0 = 19,468$ cm² $B = 0,626$

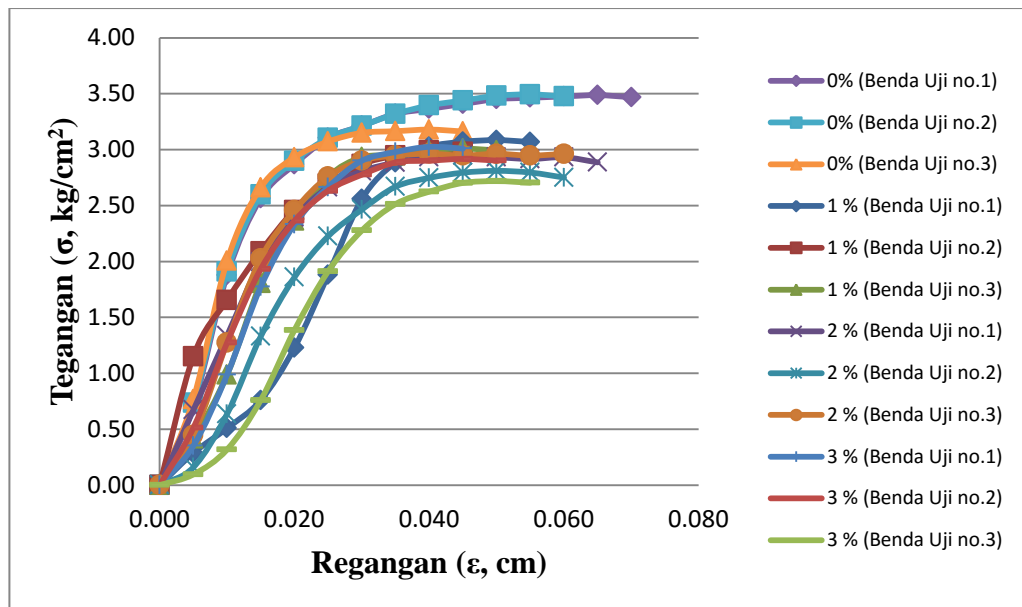
Tabel 43. Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (3%)

Pemendekan Tanah			Luas Tanah		Beban						Tekanan (σ)		
Pembacaan Arloji (a)	$\Delta L = a \times 0,001$ (cm)	Regangan $\frac{\Delta L}{\epsilon} = \frac{\Delta L}{L_0}$	Koreksi $1 - \epsilon$	Luas dikoreksi (cm ²) $A = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$	Pembacaan Arloji Beban (n)			Beban (kg) $P = n \cdot \beta$			$\sigma = P/A$ (kg/cm ²)		
					1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,00	0,000000	1,000000	19,4683	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0,05	0,005003	0,994997	19,5662	11	16	3	6,886	10,016	1,878	0,3519	0,5119	0,0960
100	0,10	0,010007	0,989993	19,6651	31	40	10	19,406	25,040	6,260	0,9868	1,2733	0,3183
150	0,15	0,015010	0,984990	19,7650	56	61	24	35,056	38,186	15,024	1,7736	19320	0,7601
200	0,20	0,020013	0,979987	19,8659	74	75	44	46,324	46,950	27,544	2,3318	2,3633	1,3865
250	0,25	0,025017	0,974983	19,9678	85	84	61	53,210	52,584	38,186	2,6648	2,6334	1,9124
300	0,30	0,030020	0,969980	20,0708	93	89	73	58,218	55,714	45,698	2,9006	2,7759	2,2768
350	0,35	0,035023	0,964977	20,1749	96	93	81	60,096	58,218	50,706	2,9787	2,8857	2,5133
400	0,40	0,040027	0,959973	20,2801	98	94	85	61,348	58,844	53,210	3,0250*	2,9016	2,6238
450	0,45	0,045030	0,954970	20,3863	98	95	88	61,348	59,470	55,088	3,0093	2,9172*	2,9022*
500	0,50	0,050033	0,949967	20,4937		95	89		59,470	55,714		2,9019	2,7186
550	0,55	0,055037	0,944963	20,6022			89			55,714			2,7043
600	0,60	0,060040	0,939960	20,7119									
650	0,65	0,065043	0,934957	20,8227									
700	0,70	0,070047	0,929953	20,9347									
750	0,75	0,075050	0,924950	21,0480									

*Nilai qu $L_0 = 9,99$ cm $D_0 = 4,98$ cm $A_0 = 19,468$ cm² $B = 0,626$

Tabel 44. Nilai q_u , ϕ , dan c Uji Tekan Bebas Campuran Potongan Plastik
0,5 cm x 1 cm

No.	Persentase	Benda Uji	Kuat Tekan q_u σ_{max} (kg/cm ²)	ϕ $= 2(\theta - 45^\circ)$	$c = q_u / (2 \tan \theta)$ (kg/cm ²)
1	0%	1	3,4874	30	1,0067
		2	3,4943	10	1,4660
		3	3,1794	2	1,5352
		Rata-rata	3,3870	14	1,3360
2	1%	1	3,0852	12	1,2492
		2	2,9942	0	1,5503
		3	3,0093	2	1,4530
		Rata-rata	3,0295	4,67	1,4175
3	2%	1	2,9479	6	1,3271
		2	2,8102	0	2,2487
		3	2,9633	20	1,0375
		Rata-rata	2,9071	8,67	1,5378
4	3%	1	3,0250	0	2,1601
		2	2,9172	0	1,4586
		3	2,7186	0	1,9413
		Rata-rata	2,8870	0	1,8533



Gambar 28. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan dengan Serat Potongan Plastik Ukuran 0,5 cm x 1 cm



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN




Judul Pengujian : Pengujian Tekan Bebas

Ukuran Plastik : 1 cm x 1 cm




Angka Kalibrasi (β) : 0,626 kg/div

Tabel 45. Data Uji Tekan Bebas




Pembacaan Arloji (a)	Tanggal Pengujian											
	3 Maret 2016			17 Maret 2016			18 Maret 2016			18 Maret 2016		
	Persentase Campuran											
	0 %			1 %			2 %			3 %		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	22	23	24	13	12	9	8	6	4	6	2	9
100	59	60	63	31	26	22	12	13	12	16	6	18
150	81	82	84	49	51	41	18	24	28	37	21	36
200	91	92	92	62	71	58	25	45	52	64	56	64
250	99	99	98	71	81	71	38	80	91	86	90	105
300	103	103	101	77	86	81	61	96	110	98	121	134
350	107	107	102	81	91	88	83	102	116	101	134	145
400	108	111	103	84	93	93	93	104	116	103	140	149
450	111	112	103	85	95	96	95	105		102	142	149
500	113	114		85	96	99	93			100	140	145
550	114	115			96	100					136	
600	115	115				101						
650	116					103						
700	116					103						
750						103						

1	2	3
		
$\theta = 30^\circ$	$\theta = 61^\circ$	$\theta = 41^\circ$

Gambar 29. Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 1 cm x 1 cm (1%)

1	2	3
		
$\theta = 59^\circ$	$\theta = 35^\circ$	$\theta = 35^\circ$

Gambar 30. Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 1 cm x 1 cm (2%)

1	2	3
 <p>$\theta = 25^\circ$</p>	 <p>$\theta = 53^\circ$</p>	 <p>$\theta = 24^\circ$</p>

Gambar 31. Sudut Pola Keruntuhan Benda Uji Ukuran Plastik 1 cm x 1 cm (3%)

Tabel 46. Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai γ_b Uji Tekan Bebas Ukuran Plastik 1 cm x 1 cm

Tanggal	3 Maret 2016			14 Maret 2016			15 Maret 2016			16 Maret 2016		
Percentase campuran plastik	0%			1%			2 %			3 %		
Benda uji ke-	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Berat silinder	gram	265	251	265	251	269	265	251	269	265	251	269
Berat silinder + tanah padat	gram	627	614	626	613	601	611	605	588	604	619	605
Berat tanah (A)	gram	362	363	357	348	350	342	340	337	335	354	358
Volume (V)	cm ³	196,350	194,392	193,220	196,350	194,392	193,220	196,350	194,392	193,220	196,350	194,392
Berat volume basah $\left(\gamma_b = \frac{A}{V}\right)$	gr/cm ³	1,844	1,867	1,848	1,772	1,801	1,770	1,732	1,735	1,734	1,803	1,842
												1,739

Tabel 47. Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (1%)

Pemendekan Tanah			Luas Tanah		Beban						Tekanan (σ)			
Pembacaan Arloji (a)	ΔL = a x 0,001 (cm)	Regangan $\frac{\Delta L}{\epsilon} = \frac{\Delta L}{L_0}$	Koreksi 1 - ε	Luas dikoreksi (cm²) $A = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$	Pembacaan Arloji Beban (n)			Beban (kg) P = n.β			σ = P/A (kg/cm²)			
					1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	0,00	0,000000	1,000000	19,4683	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0,05	0,005003	0,994997	19,5662	13	12	9	8,138	7,512	5,634	0,4159	0,3839	0,2879	0,2879
100	0,10	0,010007	0,989993	19,6651	31	26	22	19,406	16,276	13,772	0,9868	0,8277	0,7003	0,7003
150	0,15	0,015010	0,984990	19,7650	49	51	41	30,674	31,926	25,666	1,5519	1,6153	1,2986	1,2986
200	0,20	0,020013	0,979987	19,8659	62	71	58	38,812	44,446	36,308	1,9537	2,2373	1,8277	1,8277
250	0,25	0,025017	0,974983	19,9678	71	81	71	44,446	50,706	44,446	2,2259	2,5394	2,2259	2,2259
300	0,30	0,030020	0,969980	20,0708	77	86	81	48,202	53,836	50,706	2,4016	2,6823	2,5264	2,5264
350	0,35	0,035023	0,964977	20,1749	81	91	88	50,706	56,966	55,088	2,5133	2,8236	2,7305	2,7305
400	0,40	0,040027	0,959973	20,2801	84	93	93	52,584	58,218	58,218	2,5929	2,8707	2,8707	2,8707
450	0,45	0,045030	0,954970	20,3863	85	95	96	53,210	59,470	60,096	2,6101*	2,9172	2,9476	2,9476
500	0,50	0,050033	0,949967	20,4937	85	96	99	53,210	60,096	61,974	2,5964	2,9324*	3,0241	3,0241
550	0,55	0,055037	0,944963	20,6022		96	100		60,096	62,600		2,9170	3,0385	3,0385
600	0,60	0,060040	0,939960	20,7119			101			63,226			3,0526	3,0526
650	0,65	0,065043	0,934957	20,8227			102			63,852			3,0665	3,0665
700	0,70	0,070047	0,929953	20,9347			103			64,478			3,0800*	3,0800*
750	0,75	0,075050	0,924950	21,0480			103			64,478			3,0634	3,0634

*Nilai qu $L_0 = 9,99$ cm $D_0 = 4,98$ cm $A_0 = 19,468$ cm² $B = 0,626$

Tabel 48. Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (2%)

Pemendekan Tanah			Luas Tanah		Beban						Tekanan (σ)		
Pembacaan Arloji (a)	$\Delta L = a \times 0,001$ (cm)	Regangan $\frac{\Delta L}{\epsilon} = \frac{\Delta L}{L_0}$	Koreksi $1 - \epsilon$	Luas dikoreksi (cm ²) $A = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$	Pembacaan Arloji Beban (n)			Beban (kg) $P = n \cdot \beta$			$\sigma = P/A$ (kg/cm ²)		
					1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,00	0,000000	1,000000	19,4683	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0,05	0,005003	0,994997	19,5662	8	6	4	5,008	3,756	2,504	0,2560	0,1920	0,1280
100	0,10	0,010007	0,989993	19,6651	12	13	12	7,512	8,138	7,512	0,3820	0,4138	0,3820
150	0,15	0,015010	0,984990	19,7650	18	24	28	11,268	15,024	17,528	0,5701	0,7601	0,8868
200	0,20	0,020013	0,979987	19,8659	25	45	52	15,650	28,170	32,552	0,7878	1,4180	1,6386
250	0,25	0,025017	0,974983	19,9678	38	80	91	23,788	50,080	56,966	1,1913	2,5080	2,8529
300	0,30	0,030020	0,969980	20,0708	61	96	110	38,186	60,096	68,860	1,9026	2,9942	3,4308
350	0,35	0,035023	0,964977	20,1749	83	102	116	51,958	63,852	72,616	2,5754	3,1649	3,5993*
400	0,40	0,040027	0,959973	20,2801	93	104	116	58,218	65,104	72,616	2,8707	3,2102	3,5807
450	0,45	0,045030	0,954970	20,3863	95	105		59,470	65,730		2,9172*	3,2242*	
500	0,50	0,050033	0,949967	20,4937	93			58,218			2,8048		
550	0,55	0,055037	0,944963	20,6022									
600	0,60	0,060040	0,939960	20,7119									
650	0,65	0,065043	0,934957	20,8227									
700	0,70	0,070047	0,929953	20,9347									
750	0,75	0,075050	0,924950	21,0480									

*Nilai qu $L_0 = 9,99$ cm $D_0 = 4,98$ cm $A_0 = 19,468$ cm² $B = 0,626$

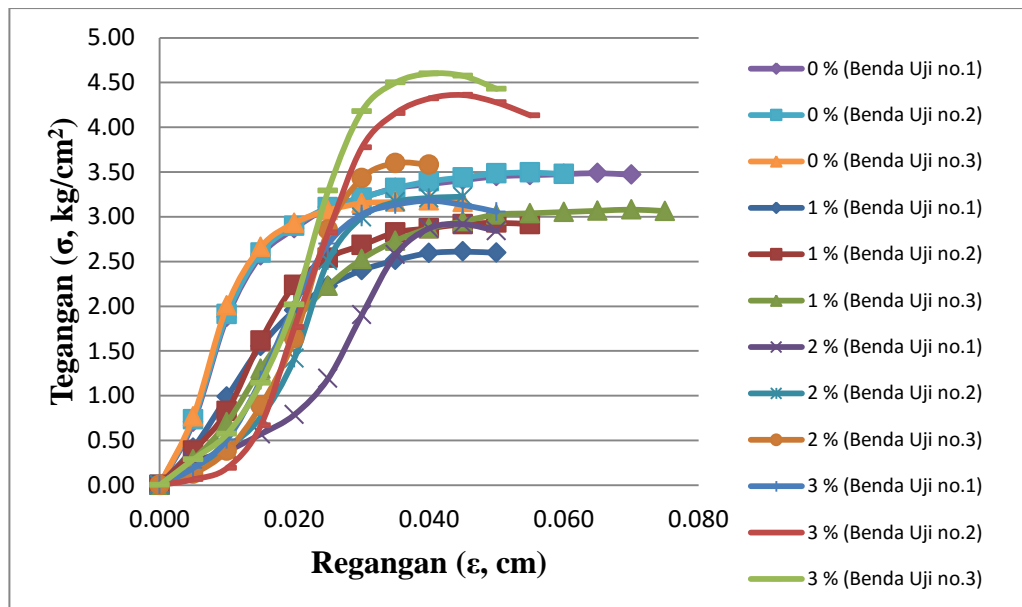
Tabel 49. Hasil Perhitungan pada Pengujian Tekan Bebas (3%)

Pemendekan Tanah			Luas Tanah		Beban						Tekanan (σ)		
Pembacaan Arloji (a)	$\Delta L = a \times 0,001$ (cm)	Regangan $\frac{\Delta L}{\epsilon} = \frac{\Delta L}{L_0}$	Koreksi $1 - \epsilon$	Luas dikoreksi (cm ²) $A = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$	Pembacaan Arloji Beban (n)			Beban (kg) $P = n \cdot \beta$			$\sigma = P/A$ (kg/cm ²)		
					1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,00	0,000000	1,000000	19,4683	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0,05	0,005003	0,994997	19,5662	6	2	9	3,756	1,252	5,634	0,1920	0,0640	0,2879
100	0,10	0,010007	0,989993	19,6651	16	6	18	10,016	3,756	11,268	0,5093	0,1910	0,5730
150	0,15	0,015010	0,984990	19,7650	37	21	36	23,162	13,146	22,536	1,1719	0,6651	1,1402
200	0,20	0,020013	0,979987	19,8659	64	56	64	40,064	35,056	40,064	2,0167	1,7646	2,0167
250	0,25	0,025017	0,974983	19,9678	86	90	105	53,836	56,340	65,730	2,6961	2,8215	3,2918
300	0,30	0,030020	0,969980	20,0708	97	121	134	60,722	75,746	83,884	3,0254	3,7739	4,1794
350	0,35	0,035023	0,964977	20,1749	101	134	145	63,226	83,884	90,770	3,1339	4,1578	4,4992
400	0,40	0,040027	0,959973	20,2801	103	140	149	64,478	87,640	93,274	3,1794*	4,3215	4,5993*
450	0,45	0,045030	0,954970	20,3863	102	142	149	63,852	88,892	93,274	3,1321	4,3604*	4,5753
500	0,50	0,050033	0,949967	20,4937	100	140	145	62,600	87,640	90,770	3,0546	4,2764	4,4292
550	0,55	0,055037	0,944963	20,6022		136			85,136			4,1324	
600	0,60	0,060040	0,939960	20,7119									
650	0,65	0,065043	0,934957	20,8227									
700	0,70	0,070047	0,929953	20,9347									
750	0,75	0,075050	0,924950	21,0480									

*Nilai qu $L_0 = 9,99$ cm $D_0 = 4,98$ cm $A_0 = 19,468$ cm² $B = 0,626$

Tabel 50. Nilai q_u , ϕ , dan c Uji Tekan Bebas Campuran Potongan Plastik
1 cm x 1 cm

No.	Persentase	Benda Uji	Kuat Tekan q_u σ_{max} (kg/cm ²)	ϕ $= 2(\theta - 45^\circ)$	$c = q_u / (2 \tan \theta)$ (kg/cm ²)
1	0%	1	3,4874	30	1,0067
		2	3,4943	10	1,4660
		3	3,1794	2	1,5352
		Rata-rata	3,3870	14	1,3360
2	1%	1	2,6101	0	2,2604
		2	2,9324	32	0,8127
		3	3,0800	0	0,1772
		Rata-rata	2,8742	10,67	1,6149
3	2%	1	2,9172	28	0,8764
		2	3,2242	0	2,3023
		3	3,5993	0	2,5702
		Rata-rata	3,2469	9,33	1,9163
4	3%	1	3,1794	0	3,4091
		2	4,3604	16	1,6429
		3	4,5993	0	5,1651
		Rata-rata	4,0464	5,33	3,4057



Gambar 32. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan dengan Serat Potongan Plastik Ukuran 1 cm x 1 cm



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

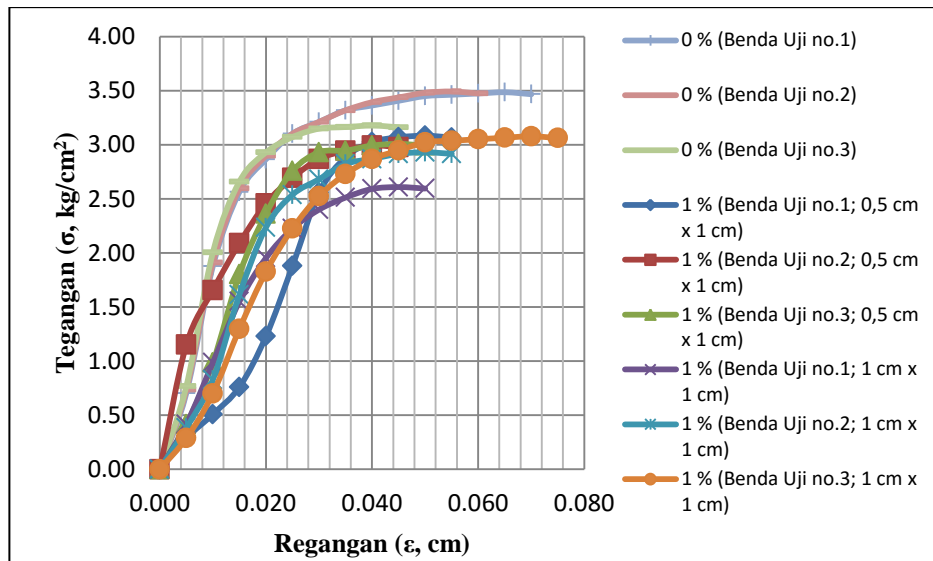
Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

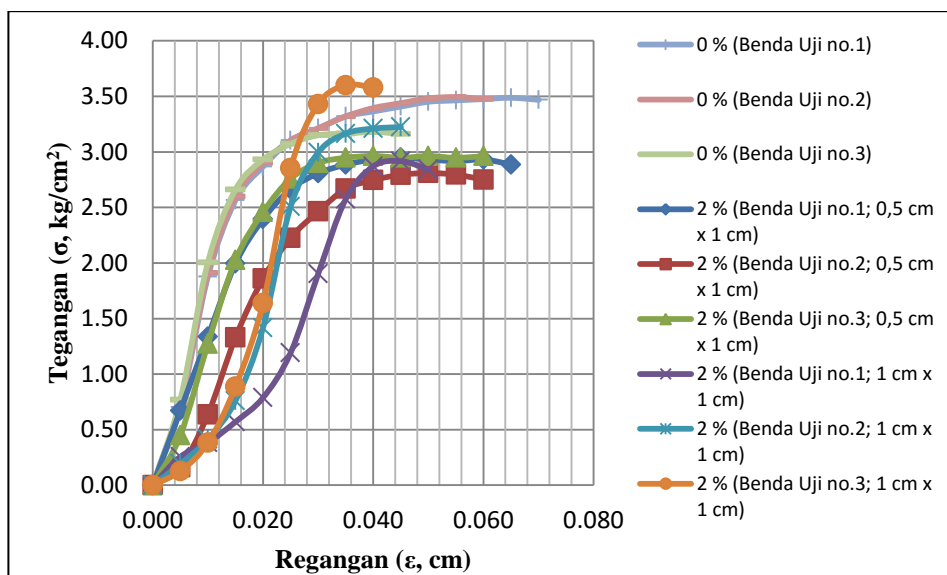
Judul Pengujian : Grafik dan Diagram Perbandingan Hasil Pengujian Tekan Bebas

Tabel 51. Hasil Rerata Uji Tekan Bebas

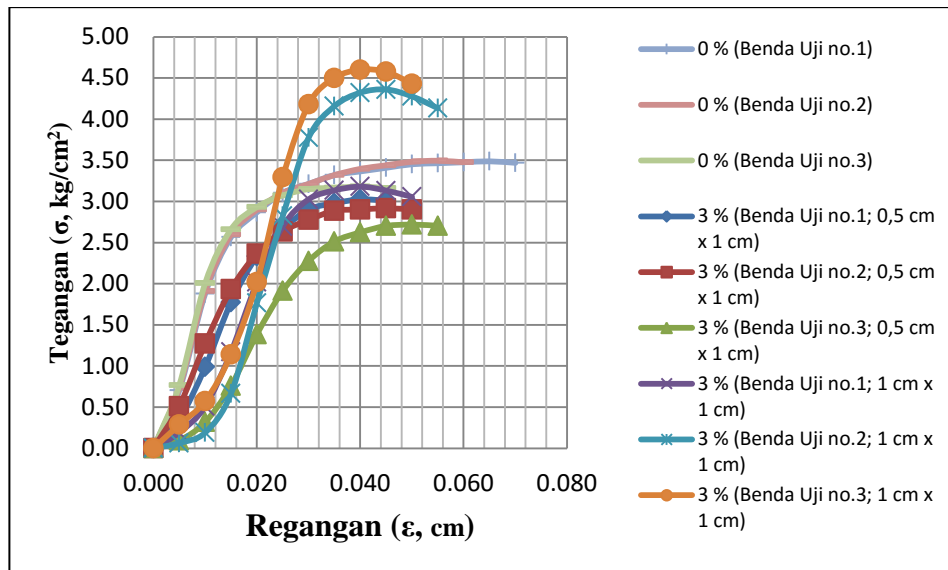
Lempung + variasi campuran	q_u (kg/cm²)	ϕ (°)	c (kg/cm²)
Lempung + 0% plastik	3,3870	14	1,3360
Lempung + 1% plastik (0,5 cm x 1 cm)	3,0295	4,67	1,4175
Lempung + 2% plastik (0,5 cm x 1 cm)	2,9071	8,67	1,5378
Lempung + 3% plastik (0,5 cm x 1 cm)	2,8870	0	1,8533
Lempung + 1% plastik (1 cm x 1 cm)	2,8742	10,67	1,6149
Lempung + 2% plastik (1 cm x 1 cm)	3,2469	9,33	1,9163
Lempung + 3% plastik (1 cm x 1 cm)	4,0464	5,33	3,4057



Gambar 33. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan (Persentase 0% dengan 1%)



Gambar 34. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan (Persentase 0% dengan 2%)



Gambar 35. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan (Persentase 0% dengan 3%)



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA PENGUJIAN

Judul Pengujian : Data Persiapan dan Data Pengujian Geser Langsung

Tanggal Pengujian : 13 Februari 2016

Tabel 52. Data Hasil Pemeriksaan Kadar Air Awal Uji Geser Langsung

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 (gram)	14,68	14,73
Berat cawan + tanah basah	W_2 (gram)	41,27	41,86
Berat cawan + tanah kering	W_3 (gram)	38,95	39,43
Berat air	$A = W_2 - W_3$ (gram)	2,32	2,43
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$ (gram)	24,27	24,7
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$ (%)	9,56	9,84
Kadar air (w)		9,70%	

Tabel 53. Data Cetakan Benda Uji

Diameter cetakan (D)	6,35 cm
Tinggi cetakan (Lo)	3,46 cm
Luas cetakan (Ao)	31,670 cm ²
Volume cetakan (V)	109,575 cm ³
Berat silinder cetakan	57 gram

Tabel 54. Data Benda Uji

Jumlah lapisan	3
Jumlah pukulan	25
Angka kalibrasi (β)	0,546456 kg/div

Tabel 55. Data Pencarian Kebutuhan Air

Diameter silinder (D)		6,30 cm
Tinggi silinder		4,53 cm
Luas (A)		31,172 cm
Volume (V)		141,211 cm
Berat Jenis Tanah (G)		2,423
Jumlah lapisan		3
Jumlah pukulan		25
Berat silinder + tanah	W_0	400 gram
Berat tanah	W_b	203 gram
Berat silinder	$A = W_0 - W_b$	197 gram
Mencari γ_b	$\gamma_b = \frac{w_b}{V_{Silinder}}$	1,438 gram/cm ³
Mencari e (angka pori)	$\gamma_b = \frac{G \times \gamma_w \times (1 + w)}{1 + e}$	0,848
Mencari berat volume basah γ_b (γ jenuh) Jenuh S = 1	$\gamma = \frac{\gamma_w(G + e \times S)}{1 + e}$	1,77 gram/cm ³
Kebutuhan air yang harus di tambah	$\gamma_{sat} - \gamma_b$	0,332 ton
Volume air	$V_w = \frac{w_w}{\gamma_w}$	0,332 m ³

Jadi volume waternya = $V_w = \frac{w_w}{\gamma_w} = \frac{\Delta \text{ ton}}{1 \text{ t/m}^3} = 0,332 \text{ m}^3$ tiap 1 m³ tanah atau sama

dengan 0,332 cm³ tiap 1 m³ tanah.

Tabel 56. Data Kebutuhan Serat Plastik Benda Uji Geser Langsung

Tanggal	23 Maret 2016	24 Maret 2016	28 Maret 2016	28 Maret 2016									
Percentase campuran plastik	0%	1%	2 %	3 %									
Berat kebutuhan tanah untuk 1 benda uji	1000 gram	1000 gram	1000 gram	1000 gram									
Kadar air (w)	9,70%	9,70%	9,70%	9,70%									
Benda uji ke-	1	2	3	1	2	3							
$W_k = \frac{1000}{1 + w}$	gr	911,58	911,58	911,58	911,58	911,58							
Keb. Plastik = Per. Plastik x W_k	gr	0	0	0	4,73	4,73	4,73	9,46	9,46	9,46	14,19	14,19	14,19

Tabel 57. Hasil Uji Geser Langsung Tanpa Campuran Plastik

Berat tanah (gram)		174	Berat tanah (gram)		175	Berat tanah (gram)		173
Konsolidasi		89	Konsolidasi		53	Konsolidasi		63
Beban normal 5,1 kg			Beban normal 10,2 kg			Beban normal 15,3 kg		
Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban
0,25	1	3	0,25	1	8	0,25	1	8
0,50	2	8	0,50	5	9	0,50	3	12
0,75	2	10	0,75	11	11	0,75	4	20
1,00	2	10	1,00	16	11	1,00	8	20
1,25	1	10	1,25	23	12	1,25	12	19
1,50	0	10	1,50	28	12	1,50	19	19
1,75			1,75	32	13	1,75	21	19
2,00			2,00	38	14	2,00	25	20
2,50			2,50	45	14	2,50	32	20
3,00			3,00	49	14	3,00	39	21
3,50			3,50	54	14	3,50	45	22
4,00			4,00	59	15	4,00	47	22
4,50			4,50	63	15	4,50	48	21
5,00			5,00	68	16	5,00	50	21
5,50			5,50	78	17	5,50	52	22
6,00			6,00	78	17	6,00	53	22
6,50			6,50	85	18	6,50	54	22
7,00			7,00	88	18	7,00	54	22
7,50			7,50	94	18	7,50		

Tabel 58. Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 1% ukuran 0,5 cm x 1 cm

Berat tanah (gram)		182	Berat tanah (gram)		177	Berat tanah (gram)		180
Konsolidasi		39	Konsolidasi		67	Konsolidasi		86
Beban normal 5,1 kg			Beban normal 10,2 kg			Beban normal 15,3 kg		
Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban
0,25	1	6	0,25	0	7	0,25	0	7
0,50	2	9	0,50	1	8	0,50	0	8
0,75	5	10	0,75	3	8	0,75	0	9
1,00	6	10	1,00	7	8	1,00	0	9
1,25	7	10	1,25	9	8	1,25	0	9
1,50	9	10	1,50	11	8	1,50	0	9
1,75	10	10	1,75	13	7	1,75		
2,00	11	10	2,00			2,00		
2,50	12	10	2,50			2,50		
3,00			3,00			3,00		
3,50			3,50			3,50		
4,00			4,00			4,00		
4,50			4,50			4,50		
5,00			5,00			5,00		
5,50			5,50			5,50		
6,00			6,00			6,00		
6,50			6,50			6,50		
7,00			7,00			7,00		
7,50			7,50			7,50		

Tabel 59. Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 2 % ukuran 0,5 cm x 1 cm

Berat tanah (gram)		174	Berat tanah (gram)		175	Berat tanah (gram)		173
Konsolidasi		89	Konsolidasi		53	Konsolidasi		63
Beban normal 5,1 kg			Beban normal 10,2 kg			Beban normal 15,3 kg		
Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban
0,25	1	8	0,25	3	4	0,25	0	7
0,50	2	10	0,50	-1	8	0,50	-2	7
0,75	3	8	0,75	-1	11	0,75	-3	7
1,00	3	8	1,00	-1	12	1,00	-3	7
1,25	3	8	1,25	-2	12	1,25	-4	7
1,50	3	8	1,50	-2	12	1,50	-6	7
1,75	4	8	1,75	-3	12	1,75	-8	8
2,00			2,00			2,00	-10	8
2,50			2,50			2,50	-12	8
3,00			3,00			3,00	-14	9
3,50			3,50			3,50	-10	9
4,00			4,00			4,00	-11	9
4,50			4,50			4,50	-18	8
5,00			5,00			5,00		
5,50			5,50			5,50		
6,00			6,00			6,00		
6,50			6,50			6,50		
7,00			7,00			7,00		
7,50			7,50			7,50		

Tabel 60. Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 3 % ukuran 0,5 cm x 1 cm

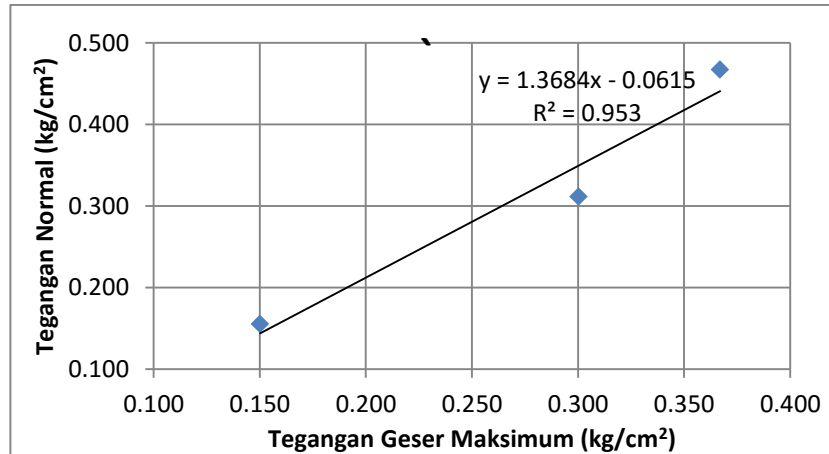
Berat tanah (gram)		168	Berat tanah (gram)		178	Berat tanah (gram)		178
Konsolidasi		28	Konsolidasi		90	Konsolidasi		97
Beban normal 5,1 kg			Beban normal 10,2 kg			Beban normal 15,3 kg		
Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban
0,25	0	4	0,25	0	7	0,25	-2	9
0,50	1	10	0,50	0	13	0,50	-6	11
0,75	0	13	0,75	-1	14	0,75	-13	11
1,00	1	13	1,00	1	15	1,00	-17	12
1,25	4	13	1,25	-3	15	1,25	-22	13
1,50	5	13	1,50	-3	15	1,50	-27	13
1,75	6	13	1,75	-3	15	1,75	-30	13
2,00	8	13	2,00	-3	16	2,00	-34	13
2,50	70	13	2,50	-3	16	2,50	-40	14
3,00	12	13	3,00	-3	16	3,00	-45	14
3,50	14	13	3,50	-3	16	3,50	-48	14
4,00	12	12	4,00	-2	15	4,00	-51	15
4,50			4,50			4,50	-54	15
5,00			5,00			5,00	-55	15
5,50			5,50			5,50	-57	14
6,00			6,00			6,00	-58	14
6,50			6,50			6,50		

Tabel 61. Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Tanpa Serat Potongan Plastik

Pembacaan Dial Horizontal 1	5.1 kg				10.2 kg				15.3 kg			
	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan $= P_{geser}/A$	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan $= P_{geser}/A$	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan $= P_{geser}/A$
0.25	-1	8	4.372	0.133	-1	10	5.465	0.167	0	14	7.650	0.234
0.50	4	12	6.557	0.200	-1	18	9.836	0.300	0	20	10.929	0.334
0.75	9	12	6.557	0.200	0	21	11.476	0.350	-2	21	11.476	0.350
1.00	10	11	6.011	0.183	0	21	11.476	0.350	-3	22	12.022	0.367
1.25	11	10	5.465	0.167	0	22	12.022	0.367	-5	22	12.022	0.367
1.50	12	10	5.465	0.167	0	22	12.022	0.367	-6	23	12.568	0.384
1.75	14	10	5.465	0.167	1	21	11.476	0.350	-7	23	12.568	0.384
2.00	16	10	5.465	0.167	0	21	11.476	0.350	-8	23	12.568	0.384
2.50	20	10	5.465	0.167	0	21	11.476	0.350	-10	23	12.568	0.384
3.00	25	10	5.465	0.167	1	20	10.929	0.334	-11	22	12.022	0.367
3.50					2	20	10.929	0.334	-11	22	12.022	0.367
4.00					3	19	10.383	0.317	-11	22	12.022	0.367
4.50												
5.00												
5.50												
6.00												
6.50												
7.00												
7.50												

Tabel 62. Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum

No.	Tegangan Normal (kg/cm ²)			Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)		
	Benda Uji			Benda Uji		
	1	2	3	1	2	3
1	0,156	0,311	0,467	0,150	0,300	0,367



Gambar 36. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Tanpa menggunakan Campuran Potongan Plastik

Dari hasil perhitungan data pengujian geser langsung pada benda uji tanpa menggunakan campuran potongan plastik diperoleh nilai $y = 1,3648x - 0,0615$ dimana nilai sudut geser dalam (ϕ) dan nilai kohesi (c) dapat diperoleh dengan cara, sebagai berikut:

$$y = 1,3648x - 0,0615$$

$$\text{tg } \phi = 1,3648 \longrightarrow \phi = 53,84^\circ$$

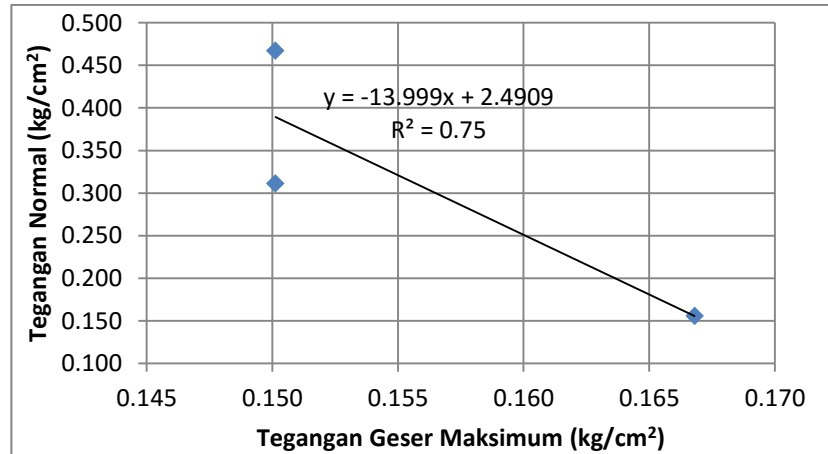
dan nilai $c = 0,0615 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 63. Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Persentase 1% (0,5 cm x 1 cm)

Pembacaan Dial Horizontal 1	5.1 kg				10.2 kg				15.3 kg			
	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A
0.25	1	6	3,279	0,100	0	7	3,825	0,117	0	7	3,825	0,117
0.50	2	9	4,918	0,150	1	8	4,372	0,133	0	8	4,372	0,133
0.75	5	10	5,465	0,167	3	8	4,372	0,133	0	9	4,918	0,150
1.00	6	10	5,465	0,167	7	8	4,372	0,133	0	9	4,918	0,150
1.25	7	10	5,465	0,167	9	8	4,372	0,133	0	9	4,918	0,150
1.50	9	10	5,465	0,167	11	8	4,372	0,133	0	9	4,918	0,150
1.75	10	10	5,465	0,167	13	9	4,912	0,150	0	9	4,918	0,150
2.00	11	10	5,465	0,167								
2.50	12	10	5,465	0,167								
3.00												
3.50												
4.00												
4.50												
5.00												
5.50												
6.00												
6.50												
7.00												
7.50												

Tabel 64. Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum

No.	Tegangan Normal (kg/cm ²)			Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)		
	Benda Uji			Benda Uji		
	1	2	3	1	2	3
1	0,156	0,311	0,467	0,167	0,150	0,150



Gambar 37. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Pesentase 1% (0,5 cm x 1 cm)

Dari hasil perhitungan data pengujian geser langsung pada benda uji tanpa menggunakan campuran potongan plastik diperoleh nilai $y = -13,999x + 2,4909$ dimana nilai sudut geser dalam (ϕ) dan nilai kohesi (c) dapat diperoleh dengan cara, sebagai berikut:

$$y = -13,999x + 2,4909$$

$$\text{tg } \phi = 13,999 \longrightarrow \phi = 85,91^\circ$$

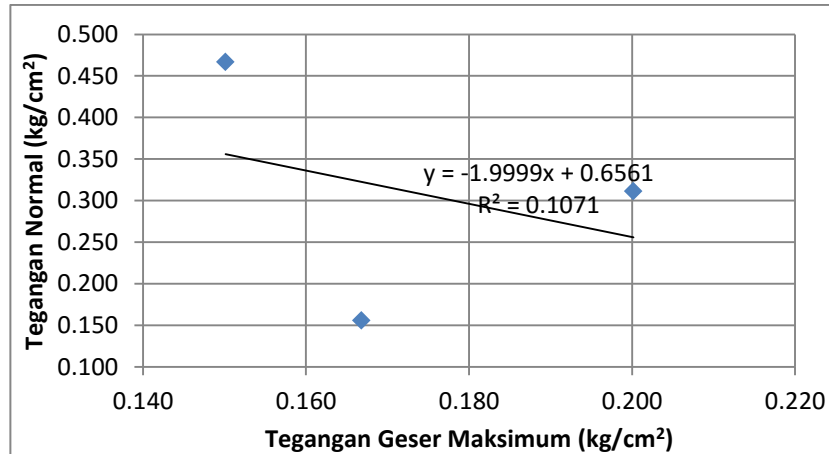
dan nilai $c = 2,4909 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 65. Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Persentase 2% (0,5 cm x 1 cm)

Pembacaan Dial Horizontal 1	5.1 kg				10.2 kg				15.3 kg			
	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A
0.25	1	8	4,372	0,133	3	4	2,186	0,067	0	7	3,825	0,117
0.50	2	10	5,465	0,167	-1	8	4,372	0,133	-2	7	3,825	0,117
0.75	3	8	4,372	0,133	-1	11	6,011	0,183	-3	7	3,825	0,117
1.00	3	8	4,372	0,133	-1	12	6,557	0,200	-3	7	3,825	0,117
1.25	3	8	4,372	0,133	-2	12	6,557	0,200	-4	7	3,825	0,117
1.50	3	8	4,372	0,133	-2	12	6,557	0,200	-6	7	3,825	0,117
1.75	4	8	4,372	0,133	-2	12	6,557	0,200	-8	8	4,372	0,133
2.00									-10	8	4,372	0,133
2.50									-12	8	4,372	0,133
3.00									-14	9	4,918	0,150
3.50									-10	9	4,918	0,150
4.00									-11	9	4,918	0,150
4.50									-18	8	4,372	0,133
5.00												
5.50												
6.00												
6.50												
7.00												
7.50												

Tabel 66. Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum

No.	Tegangan Normal (kg/cm ²)			Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)		
	Benda Uji			Benda Uji		
	1	2	3	1	2	3
1	0,156	0,311	0,467	0,167	0,200	0,150



Gambar 38. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Pesentase 2% (0,5 cm x 1 cm)

Dari hasil perhitungan data pengujian geser langsung pada benda uji tanpa menggunakan campuran potongan plastik diperoleh nilai $y = -1,9999x + 0,6561$ dimana nilai sudut geser dalam (ϕ) dan nilai kohesi (c) dapat diperoleh dengan cara, sebagai berikut:

$$y = -1,9999x + 0,6561$$

$$\text{tg } \phi = 1,9999x \longrightarrow \phi = 63,43^\circ$$

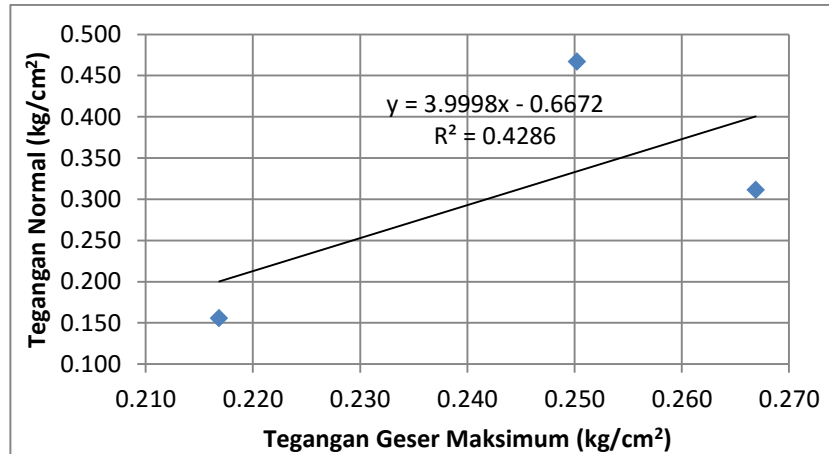
dan nilai $c = 0,6561 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 67. Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Persentase 3% (0,5 cm x 1 cm)

Pembacaan Dial Horizontal 1	5.1 kg				10.2 kg				15.3 kg			
	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	$\text{Tegangan} = P_{geser}/A$	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	$\text{Tegangan} = P_{geser}/A$	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	$\text{Tegangan} = P_{geser}/A$
0.25	0	4	2,186	0,067	0	7	3,825	0,117	-2	9	4,918	0,150
0.50	1	10	5,465	0,167	0	13	7,104	0,217	-6	11	6,011	0,183
0.75	0	13	7,104	0,217	-1	14	7,650	0,234	-13	11	6,011	0,183
1.00	1	13	7,104	0,217	1	15	8,197	0,250	-17	12	6,557	0,200
1.25	4	13	7,104	0,217	-3	15	8,197	0,250	-22	13	7,104	0,217
1.50	5	13	7,104	0,217	-3	15	8,197	0,250	-27	13	7,104	0,217
1.75	6	13	7,104	0,217	-3	15	8,197	0,250	-30	13	7,104	0,217
2.00	8	13	7,104	0,217	-3	16	8,743	0,267	-34	13	7,104	0,217
2.50	10	13	7,104	0,217	-3	16	8,743	0,267	-40	14	7,650	0,234
3.00	11	13	7,104	0,217	-3	16	8,743	0,267	-45	14	7,650	0,234
3.50	15	13	7,104	0,217	-3	16	8,743	0,267	-48	14	7,650	0,234
4.00	12	12	6,557	0,200	-2	15	8,197	0,250	-51	15	8,197	0,250
4.50									-54	15	8,197	0,250
5.00									-55	15	8,197	0,250
5.50									-52	14	7,650	0,234
6.00									-50	14	7,650	0,234
6.50												
7.00												
7.50												

Tabel 68. Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum

No.	Tegangan Normal (kg/cm ²)			Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)		
	Benda Uji			Benda Uji		
	1	2	3	1	2	3
1	0,156	0,311	0,467	0,217	0,267	0,250



Gambar 39. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Pesentase 3% (0,5 cm x 1 cm)

Dari hasil perhitungan data pengujian geser langsung pada benda uji tanpa menggunakan campuran potongan plastik diperoleh nilai $y = 3,9998x - 0,6672$ dimana nilai sudut geser dalam (ϕ) dan nilai kohesi (c) dapat diperoleh dengan cara, sebagai berikut:

$$y = 3,9998x - 0,6672$$

$$\text{tg } \phi = 3,9998 \longrightarrow \phi = 75,96^\circ$$

dan nilai $c = 0,6672 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 69. Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 1% Ukuran 1 cm x 1 cm

Berat tanah (gram)		180	Berat tanah (gram)		185	Berat tanah (gram)		179
Konsolidasi		18	Konsolidasi		42	Konsolidasi		95
Beban normal 5,1 kg			Beban normal 10,2 kg			Beban normal 15,3 kg		
Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban
0,25	-1	8	0,25	-1	10	0,25	0	14
0,50	4	12	0,50	-1	18	0,50	0	19
0,75	9	12	0,75	0	21	0,75	-2	21
1,00	10	11	1,00	0	21	1,00	-3	22
1,25	11	10	1,25	0	22	1,25	-5	22
1,50	12	10	1,50	0	22	1,50	-6	23
1,75	14	10	1,75	0	21	1,75	-7	23
2,00	16	10	2,00	0	21	2,00	-8	23
2,50	20	10	2,50	0	21	2,50	-10	23
3,00	25	10	3,00	1	20	3,00	-11	22
3,50			3,50	2	20	3,50	-11	22
4,00			4,00	3	19	4,00	-11	22
4,50			4,50			4,50		
5,00			5,00			5,00		
5,50			5,50			5,50		
6,00			6,00			6,00		
6,50			6,50			6,50		
7,00			7,00			7,00		
7,50			7,50			7,50		

Tabel 70. Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 2 % ukuran 1 cm x 1 cm

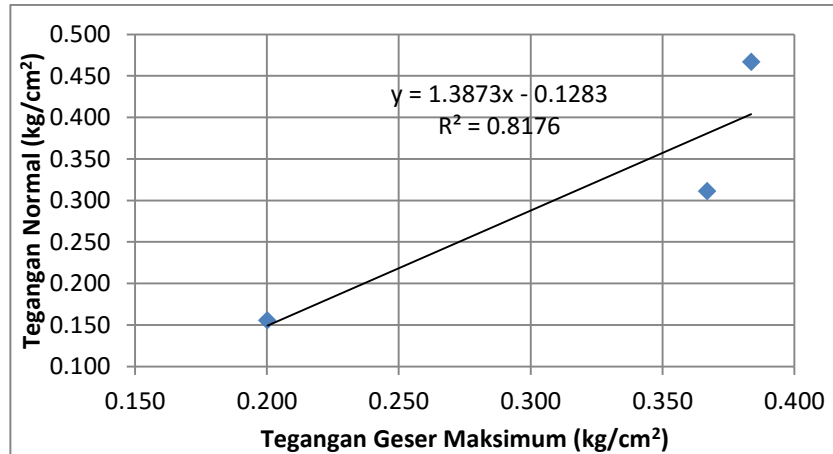
Berat tanah (gram)		179	Berat tanah (gram)		178	Berat tanah (gram)		174
Konsolidasi		31	Konsolidasi		97	Konsolidasi		106
Beban normal 5,1 kg			Beban normal 10,2 kg			Beban normal 15,3 kg		
Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban
0,25	0	7	0,25	0	6	0,25	-2	10
0,50	0	8	0,50	-2	9	0,50	-3	12
0,75	0	7	0,75	-10	10	0,75	-5	12
1,00	1	6	1,00	-17	11	1,00	-7	12
1,25	1	6	1,25	-22	12	1,25	-9	12
1,50	1	6	1,50	-28	12	1,50	-12	12
1,75	1	6	1,75	-33	12	1,75	-14	12
2,00	1	6	2,00	-37	13	2,00	-16	12
2,50	0	6	2,50	-44	14	2,50	-20	12
3,00	0	7	3,00	-48	15	3,00	-21	12
3,50	0	7	3,50	-52	15	3,50	-23	12
4,00	0	7	4,00	-55	16	4,00	-24	12
4,50	0	7	4,50	-57	16	4,50	-25	12
5,00			5,00	-58	16	5,00		
5,50			5,50	-58	17	5,50		
6,00			6,00	-58	17	6,00		
6,50			6,50	-58	17	6,50		
7,00			7,00	-58	17	7,00		
7,50			7,50	-58	17	7,50		

Tabel 71. Hasil Uji Geser Langsung dengan Campuran Plastik 3 % ukuran 1 cm x 1 cm

Berat tanah (gram)		173	Berat tanah (gram)		176	Berat tanah (gram)		174
Konsolidasi		31	Konsolidasi		56	Konsolidasi		148
Beban normal 5,1 kg			Beban normal 10,2 kg			Beban normal 15,3 kg		
Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban	Pembacaan dial horizontal	Pembacaan dial vertikal	Pembacaan dial beban
0,25	1	8	0,25	0	8	0,25	0	8
0,50	2	9	0,50	1	15	0,50	3	11
0,75	3	8	0,75	1	17	0,75	6	16
1,00	3	8	1,00	1	18	1,00	11	17
1,25	2	7	1,25	1	19	1,25	16	18
1,50	4	7	1,50	0	19	1,50	21	19
1,75	4	7	1,75	0	19	1,75	25	20
2,00	5	7	2,00	-1	19	2,00	28	21
2,50	7	7	2,50	-2	20	2,50	32	21
3,00	9	6	3,00	-3	20	3,00	32	22
3,50	12	6	3,50	-3	20	3,50	38	23
4,00			4,00	-4	21	4,00	41	24
4,50			4,50	-4	21	4,50	42	24
5,00			5,00	-3	21	5,00	42	25
5,50			5,50	-2	21	5,50	42	25
6,00			6,00	-1	21	6,00	42	26
6,50			6,50	2	21	6,50	41	26
7,00			7,00	10	20	7,00	41	26
7,50			7,50			7,50	40	26

Tabel 72. Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum

No.	Tegangan Normal (kg/cm ²)			Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)		
	Benda Uji			Benda Uji		
	1	2	3	1	2	3
1	0,156	0,311	0,467	0,200	0,367	0,384



Gambar 40. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Pesentase 1% (1 cm x 1 cm)

Dari hasil perhitungan data pengujian geser langsung pada benda uji tanpa menggunakan campuran potongan plastik diperoleh nilai $y = 1,3873x + 0,1283$ dimana nilai sudut geser dalam (ϕ) dan nilai kohesi (c) dapat diperoleh dengan cara, sebagai berikut:

$$y = 1,3873x + 0,1283$$

$$\text{tg } \phi = 1,3873 \longrightarrow \phi = 54,22^\circ$$

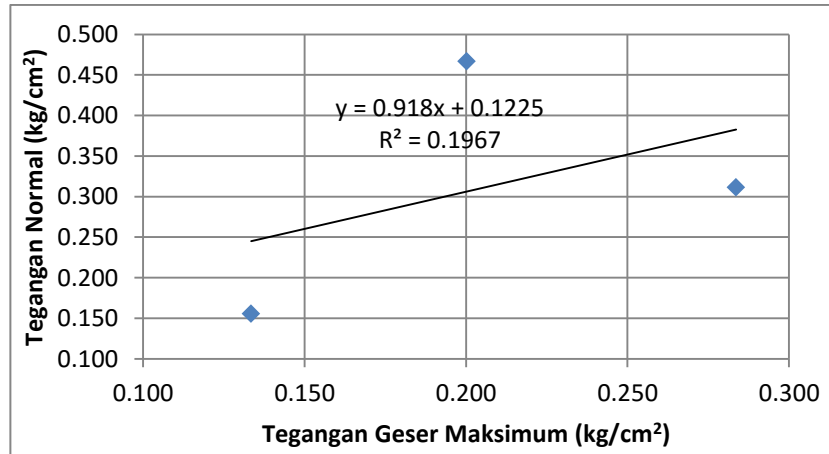
dan nilai $c = 0,1283 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 73. Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Persentase 2% (1 cm x 1 cm)

Pembacaan Dial Horizontal 1	5.1 kg				10.2 kg				15.3 kg			
	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{\text{geser}} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{\text{geser}} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{\text{geser}} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A
0.25	0	7	3,825	0,117	0	6	3,279	0,100	-1	10	5,465	0,167
0.50	0	8	4,372	0,133	-2	9	4,918	0,150	-4	12	6,557	0,200
0.75	0	7	3,825	0,117	-10	10	5,465	0,167	-5	12	6,557	0,200
1.00	1	6	3,279	0,100	-17	11	6,011	0,183	-7	12	6,557	0,200
1.25	1	6	3,279	0,100	-22	12	6,557	0,200	-9	12	6,557	0,200
1.50	1	6	3,279	0,100	-28	12	6,557	0,200	-12	12	6,557	0,200
1.75	1	6	3,279	0,100	-33	12	6,557	0,200	-14	12	6,557	0,200
2.00	1	6	3,279	0,100	-37	13	7,104	0,217	-16	12	6,557	0,200
2.50	0	6	3,279	0,100	-44	14	7,650	0,234	-20	12	6,557	0,200
3.00	0	7	3,825	0,117	-48	15	8,197	0,250	-21	12	6,557	0,200
3.50	0	7	3,825	0,117	-52	15	8,197	0,250	-23	12	6,557	0,200
4.00	0	7	3,825	0,117	-55	16	8,743	0,267	-24	12	6,557	0,200
4.50	0	7	3,825	0,117	-57	16	8,743	0,267	-25	12	6,557	0,200
5.00					-58	16	8,743	0,267				
5.50					-58	17	9,290	0,284				
6.00					-58	17	9,290	0,284				
6.50					-58	17	9,290	0,284				
7.00					-58	17	9,290	0,284				
7.50					-58	17	9,290	0,284				

Tabel 74. Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum

No.	Tegangan Normal (kg/cm ²)			Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)		
	Benda Uji			Benda Uji		
	1	2	3	1	2	3
1	0,156	0,311	0,467	0,133	0,284	0,200



Gambar 41. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Pesentase 2% (1 cm x 1 cm)

Dari hasil perhitungan data pengujian geser langsung pada benda uji tanpa menggunakan campuran potongan plastik diperoleh nilai $y = 0,918x - 0,1225$ dimana nilai sudut geser dalam (ϕ) dan nilai kohesi (c) dapat diperoleh dengan cara, sebagai berikut:

$$y = 0,918x - 0,1225$$

$$\text{tg } \phi = 0,918x \longrightarrow \phi = 42,55^\circ$$

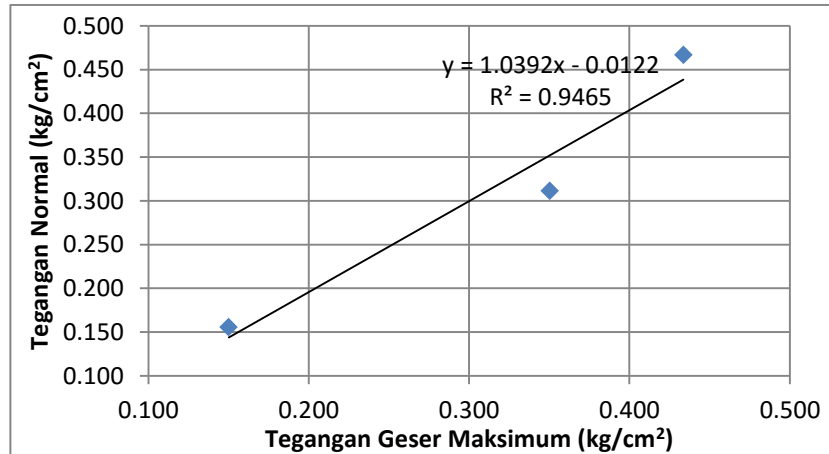
dan nilai $c = 0,1225 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 75. Hasil Perhitungan pada Pengujian Geser Langsung Persentase 3% (1 cm x 1 cm)

Pembacaan Dial Horizontal 1	5.1 kg				10.2 kg				15.3 kg			
	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A	Pembacaan Dial Vertikal	Pembacaan Dial Beban	$P_{geser} = \text{kalibrasi} \times \text{Pemb. Dial Beban}$	Tegangan = P_{geser}/A
0.25	1	8	4,372	0,133	0	8	4,372	0,133	0	0	0,000	0,000
0.50	2	9	4,918	0,150	1	15	8,197	0,250	3	11	6,011	0,183
0.75	3	8	4,372	0,133	1	17	9,290	0,284	6	16	8,743	0,267
1.00	3	8	4,372	0,133	1	18	9,836	0,300	11	17	9,290	0,284
1.25	2	7	3,825	0,117	1	19	10,383	0,317	16	18	9,836	0,300
1.50	4	7	3,825	0,117	0	19	10,383	0,317	21	19	10,383	0,317
1.75	4	7	3,825	0,117	0	19	10,383	0,317	25	20	10,929	0,334
2.00	5	7	3,825	0,117	-1	19	10,383	0,317	28	21	11,476	0,350
2.50	7	7	3,825	0,117	-2	20	10,929	0,334	32	21	11,476	0,350
3.00	9	6	3,279	0,100	-3	20	10,929	0,334	32	22	12,022	0,367
3.50	12	6	3,279	0,100	-3	20	10,929	0,334	38	23	12,568	0,384
4.00					-4	21	11,476	0,350	41	24	13,115	0,400
4.50					-4	21	11,476	0,350	42	24	13,115	0,400
5.00					-3	21	11,476	0,350	42	25	13,661	0,417
5.50					-2	21	11,476	0,350	42	25	13,661	0,417
6.00					-1	21	11,476	0,350	42	26	14,208	0,434
6.50					2	21	11,476	0,350	41	26	14,208	0,434
7.00					10	20	10,929	0,334	41	26	14,208	0,434
7.50									40	26	14,208	0,434

Tabel 76. Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum

No.	Tegangan Normal (kg/cm ²)			Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)		
	Benda Uji			Benda Uji		
	1	2	3	1	2	3
1	0,156	0,311	0,467	0,150	0,350	0,434



Gambar 42. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Pesentase 3% (1 cm x 1 cm)

Dari hasil perhitungan data pengujian geser langsung pada benda uji tanpa menggunakan campuran potongan plastik diperoleh nilai $y = 1,0392x - 0,0122$ dimana nilai sudut geser dalam (ϕ) dan nilai kohesi (c) dapat diperoleh dengan cara, sebagai berikut:

$$y = 1,0392x - 0,0122$$

$$\text{tg } \phi = 1,0392 \longrightarrow \phi = 46,10^\circ$$

dan nilai $c = 0,0122 \text{ kg/cm}^2$.